



**การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดตำโรง
โดยการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันในไมโครเวฟ**

**Preparation of Biodiesel from Sterculia Seed Oil by using
Transesterification in Microwave**

นายรัตนชัย ไพรินทร์

นางสาวนพพรธ คำใส

คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ทุนอุดหนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ปีงบประมาณ

บทคัดย่อ

การผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทยปัจจุบันใช้น้ำมันจากปาล์มเป็นวัตถุดิบหลัก แต่ต้องประสบกับปัญหาน้ำมันปาล์มไม่เพียงพอต่อการบริโภค ดังนั้นงานวิจัยชิ้นนี้จึงสนใจศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดตำโรง เนื่องจากต้นตำโรงมิใช่เป็นพืชเศรษฐกิจ และส่วนใหญ่จะใช้เพียงแคในอุตสาหกรรมเคลือบผิวเท่านั้น รวมทั้งยังพบว่ามิมีต้นตำโรงขึ้นกระจายอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศไทย จึงสามารถลดต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลลงได้ จากการศึกษาพบว่า การสกัดน้ำมันจากเมล็ดตำโรงด้วยตัวทำละลาย Hexane โดยกำหนดเงื่อนไขในการอบเมล็ดที่อุณหภูมิ 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส จากความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ยประมาณร้อยละ 9 ของมาตรฐานน้ำหนักแห้งให้เหลือความชื้นในเมล็ดร้อยละ 7 และร้อยละ 5 ของมาตรฐานน้ำหนักแห้ง พบว่า เมล็ดที่อบด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสให้เหลือความชื้นในเมล็ดร้อยละ 5 ของมาตรฐานน้ำหนักแห้งให้ปริมาณน้ำมันมากที่สุด แต่เมล็ดที่อบด้วยอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสให้เหลือความชื้นร้อยละ 7 ของมาตรฐานน้ำหนักแห้งนั้นประหยัดพลังงานและต้นทุนในการอบมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบราคาค่าไฟฟ้ากับปริมาณน้ำมันที่ได้ โดยสามารถสกัดน้ำมันได้ประมาณร้อยละ 33.36 ของน้ำหนักเมล็ด มีค่าความหนืดที่ 34.60 cSt และการศึกษากระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดตำโรง โดยเปรียบเทียบระหว่างเมธานอลและเอทานอล ที่อัตราส่วนโมลแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน 3:1 6:1 9:1 12:1 และ 15:1 โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่าง 2 ชนิด คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 พบว่า เมธานอลที่อัตราส่วนโมลแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน 12:1 ทำปฏิกิริยาให้เอสเทอร์ในปริมาณมากที่สุด โดยมีโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 1 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาในไมโครเวฟนาน 50 วินาที จากนั้นทำการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ พบว่า เมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดตำโรงมีค่าซีเทน 61.90 และค่าความหนืดประมาณ 4.39 cSt ค่าไอโอดีน 64.29 ซึ่งอยู่ในค่ามาตรฐานที่กรมธุรกิจพลังงานกำหนดไว้ เนื่องจากปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันช่วยปรับปรุงให้ค่าความหนืดของน้ำมันเหมาะสมกับการใช้งานในเครื่องยนต์ดีเซลยิ่งขึ้น

คำสำคัญ : กรดไขมันอิสระ/ น้ำมันเมล็ดตำโรง /ไบโอดีเซล/ ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน /

เมธานอล

Abstract

Thailand uses palm oil as the raw material to produce biodiesel but palm oil production is not enough to meet its demand. This study focuses on the preparation of biodiesel from Sterculia seed oil by using transesterification process in microwave. In this case, results showed that the oil from Sterculia seeds can be extracted by using hexane as a solvent. The drying condition were fixed at 40, 50, 60, and 70 °C from initial moisture content at 9% in seeds to final moisture at 7% and 5% dry weight basic. The most suitable condition for dry seeds is 60 °C as seeds contained a 5% moisture gave oil more than the other condition But the suitable condition for save energy and electricity record is dry seeds at 70 °C as seeds contained a 7% moisture dry weight basic. The Sterculia seed has oil contained 33.36% by dry weight basic and has viscosity 34.60 cSt. The studied about biodiesel produced from Sterculia seed oil by using methanol and ethanol at molar ratio 3:1, 6:1, 9:1, 12:1 and 15:1 and using base catalyst (KOH and NaOH) at 0.5 1.0 1.5 and 2.0% by weight. The most suitable condition for preparation of biodiesel from Sterculia seed oil is used methanol at molar ratio 12:1, used base (NaOH) catalyst at 1% by weight and used time in microwave 50 second. The biodiesel is characterized by cetane index is 61.90 and viscosity is 4.39 cSt according to standard of biodiesel. This study supports the production of biodiesel from Sterculia seed oil as a viable alternative to diesel fuel.

Keywords: Biodiesel / Free Fatty Acid / Methanol / Sterculia seed oil / Transesterification

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ซึ่งมอบเงินทุนช่วยเหลือในการทำงานวิจัย ตลอดการดำเนินงาน และที่ขาดไม่ได้คือ ห้องปฏิบัติการไขมัน (Lipid Lab) คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยีที่เอื้อเฟื้อสถานที่ และเครื่องมือในการทำวิจัยครั้งนี้ รวมทั้งเพื่อน พี่ น้อง และเจ้าหน้าที่ทุกท่าน ทั้งในส่วนของคณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ และคณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี ทุกคน ทั้งบุคคลผู้คอยให้การช่วยเหลือ และคอยกระตุ้นให้มีแรงผลักดันในการทำงานตลอดมา งานวิจัยเล่มนี้เสร็จสิ้นลงได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ-ซ
รายการตาราง	ซ
รายการรูปภาพประกอบ	ฌ-ญ
ประมวลคำศัพท์และคำย่อ	ฎ

บทที่

1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	4
1.4 แนวทางการดำเนินการวิจัย	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ความหมายของไบโอดีเซล	5
2.2 กระบวนการผลิตแบบปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ิฟิเคชัน (Transesterification)	6
2.3 น้ำมันเมล็ดสำโรง	7
2.3.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์	8
2.3.2 องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันเมล็ดสำโรง	10
3. อุปกรณ์ สารเคมี และวิธีดำเนินการวิจัย	15
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี	15
3.1.1 วัสดุอุปกรณ์	15
3.1.2 สารเคมี	16
3.1.3 ตัวอย่างน้ำมัน	16

	หน้า
3.2 วิธีการดำเนินการวิจัย	16
3.2.1 การหาปริมาณน้ำมันในส่วนต่าง ๆ ของเมล็ดสำโรง	17
3.2.2 การศึกษาอิทธิพลต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้	18
3.2.3 การหาปริมาณความชื้นของน้ำมันเมล็ดสำโรง	19
3.2.4 การหาค่าความหนืดของน้ำมันเมล็ดสำโรง	19
3.2.5 การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดไขมันด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี	20
3.2.6 การศึกษาอิทธิพลต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน	20
 4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล	 23
4.1 ผลการหาปริมาณน้ำมันในส่วนต่าง ๆ ของเมล็ดสำโรง	23
4.2 ผลการศึกษาอิทธิพลต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้	23
4.3 ผลการวิเคราะห์อิทธิพลของความชื้นสุดท้ายในเมล็ดที่มีต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้	24
4.4 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนืดของน้ำมันเมล็ดสำโรง	29
4.5 ผลการวิเคราะห์ร้อยละผลผลิตและการหาค่าเวลาคงค้าง	31
4.6 ผลการศึกษาอิทธิพลต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน	34
4.6.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของตัวเร่งปฏิกิริยา และอัตราส่วน โมลของเอทานอล และเมทานอล	34
4.6.2 การศึกษาอิทธิพลของชนิดและอัตราส่วน โมลของแอลกอฮอล์ และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาในไมโครเวฟที่มีต่อความบริสุทธิ์ของเอสเทอร์	36
4.7 ผลการศึกษากระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสำโรง	37
4.7.1 เงื่อนไขสภาวะของการผลิต	38
4.7.2 กระบวนการผลิต	38
4.7.3 ผลการทดลอง	38
 5. สรุปผลการทดลอง	 40
5.1 สรุปผลการทดลอง	40
5.2 ข้อเสนอแนะ	42
5.2.1 ด้านงานวิจัยและพัฒนา	42
5.2.2 ด้านนโยบายของรัฐ	42
เอกสารอ้างอิง	43

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 สมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันเมล็ดตำโรง	10
2.2 ส่วนประกอบของกรดไขมันที่ตรวจสอบได้ใน <i>Sterculia Striata</i> เปรียบเทียบกับกรดไขมันที่ได้จากเมล็ดตำโรง	11
2.3 องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันเมล็ดตำโรงในรูปเมธิลเอสเทอร์	14
4.1 ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดตำโรงรวมเปลือก เนื้อในเมล็ดตำโรง และเปลือกของเมล็ดตำโรง	23
4.2 ผลการเปรียบเทียบอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดตำโรงและเวลาในการอบ	25
4.3 ค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสของน้ำมันเมล็ดตำโรงเปรียบเทียบกับน้ำมันยางพารา น้ำมันสบู่ดำ น้ำมันเมล็ดทานตะวัน น้ำมันเมล็ดเรพ น้ำมันปาล์ม และมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน	29
4.4 ผลการวิเคราะห์ค่าร้อยละองค์ประกอบของเอสเทอร์น้ำมันจากเมล็ดตำโรงเปรียบเทียบกับน้ำมันชนิดอื่น ๆ	34
4.5 องค์ประกอบของเมธิลเอสเทอร์จากการทดลองเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเบื้องต้นก่อนการทดลอง (4.5.1)	39

รายการรูปประกอบ

รูป		หน้า
1.1	ราคาน้ำมันดีเซล ดีเซลปาล์ม และเอ็นจีวีเปรียบเทียบระหว่างปี 2547 ถึงปี 2551	2
2.1	ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน	6
2.2	ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของต้นลำโรง	8
2.3	โครมาโตแกรมที่ Sabria Aued-Pimentel และคณะ ได้ฉีดทดสอบเอสเทอร์ที่เตรียมจากน้ำมันของพืชตระกูลลำโรงด้วยเครื่อง GC-FID	11
2.4	โครมาโตแกรมที่ Sabria Aued-Pimentel และคณะ ได้ฉีดทดสอบเอสเทอร์ที่เตรียมจากน้ำมันของพืชตระกูลลำโรงจากเครื่อง GC/MS	12
2.5	โครมาโตแกรมสรุปที่ Sabria Aued-Pimentel และคณะ ได้ฉีดทดสอบเอสเทอร์ที่เตรียมจากน้ำมันของพืชตระกูลลำโรง ด้วยเครื่อง GC-FID และ GC/MS	13
3.1	ขั้นตอนการหาปริมาณน้ำมันในส่วนต่าง ๆ ของเมล็ดลำโรง	17
3.2	ขั้นตอนการศึกษาอิทธิพลต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดลำโรง	18
3.3	ลักษณะของ viscometer	19
3.4	ขั้นตอนการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดไขมันด้วยแก๊สโครมาโตกราฟี	20
3.5	สรุปขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	22
4.1	ลักษณะสีของน้ำมันเมล็ดลำโรง	23
4.2	ผลการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละความชื้นในเมล็ดลำโรงกับเวลาการอบที่ความชื้นร้อยละ 7 มาตรฐานน้ำหนักแห้งที่อุณหภูมิในการอบ 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส	26
4.3	ผลการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละความชื้นในเมล็ดลำโรงกับเวลาการอบที่ความชื้นร้อยละ 5 ของมาตรฐานน้ำหนักแห้งที่อุณหภูมิในการอบ 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส	27
4.4	ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดลำโรงที่ความชื้นในเมล็ดร้อยละ 7 และร้อยละ 5 ของมาตรฐานน้ำหนักแห้ง โดยใช้อุณหภูมิในการอบเมล็ดที่ 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส	28
4.5	ผลการเปรียบเทียบค่าความหนืดของน้ำมันเมล็ดลำโรงบริสุทธิ์กับเมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์ที่อุณหภูมิ 40 50 และ 80 องศาเซลเซียส	30

รูป	หน้า	
4.6	โครมาโตแกรมแสดงองค์ประกอบในน้ำมันเมล็ดสำโรงที่ได้จากเครื่อง HPLC คอลัมน์ชนิด Phenogel ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 7.8 มิลลิเมตร ความยาว 300 มิลลิเมตร ขนาดอนุภาคบรรจุ 5 ไมครอน ความพรุน (Porosity) 100 อังตรอม โดยใช้เครื่องตรวจวัดชนิด ELSD ค่าเวลาคงค้างของน้ำมันให้ฟิดที่ 8.260 และ 12.250	32
4.7	โครมาโตแกรมของเอสเทอร์ที่เตรียมจากน้ำมันเมล็ดสำโรงบริสุทธิ์ที่ได้จากเครื่อง HPLC คอลัมน์ชนิด Phenogel ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 7.8 มิลลิเมตร ความยาว 300 มิลลิเมตร ขนาดอนุภาคบรรจุ 5 ไมครอน ความพรุน (Porosity) 100 อังตรอม โดยใช้เครื่องตรวจวัดชนิด ELSD ค่าเวลาคงค้างของกรดไขมันเอซิลเอสเทอร์ที่ 9.502	33
4.8	ปริมาณของเอซิลเอสเทอร์ของน้ำมันเมล็ดสำโรงที่ใช้ KOH เปรียบเทียบกับ NaOH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 1.0 1.5 และ 2 ในเอทานอล จากวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HLPC	35
4.9	ปริมาณของเอซิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดสำโรงที่อัตราส่วน โมลแอลกอฮอล์ต่อ น้ำมันที่ 3:1 6:1 9:1 12:1 และ 15:1 ที่เวลาคงค้างในไมโครเวฟ 0 ถึง 60 วินาที จากการฉีดวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC	36
4.10	ปริมาณของเอซิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดสำโรงที่อัตราส่วน โมลแอลกอฮอล์ต่อ น้ำมันที่ 3:1 6:1 9:1 12:1 และ 15:1 ที่เวลาคงค้างในไมโครเวฟ 0 ถึง 60 วินาที จากการฉีดวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC	37

ประมวลคำศัพท์และคำย่อ

FAME	=	Fatty Acid Methyl Ester
FAEE	=	Fatty Acid Ethyl Ester
FFA	=	Free Fatty Acid
MeOH	=	Methanol
KOH	=	Potassium Hydroxide
NaOH	=	Sodium Hydroxide
TG	=	Triglyceride
DG	=	Diglyceride
MG	=	Monoglyceride
GC	=	Gas Chromatography
HPLC	=	High Performance liquid Chromatography
SN	=	Saponification Number
IV	=	Iodine Value
CI	=	Cetane Index
CN	=	Cetane Number
HF	=	Heat of Combustion of Fatty Acid Methyl Esther
HO	=	Heat of Combustion of Oil
TLC	=	Thin Layer Chromatography
%w/v	=	Percentage Weight by Volume
MW	=	Molecular Weight
NGV	=	Natural Gas Vehicles
GDP	=	Gross Domestic Product
°C	=	Celsius degree
mm ² /s	=	Square Millimeter per Second
h	=	Hour
kJ	=	Kiloule
Kg	=	Kilogram

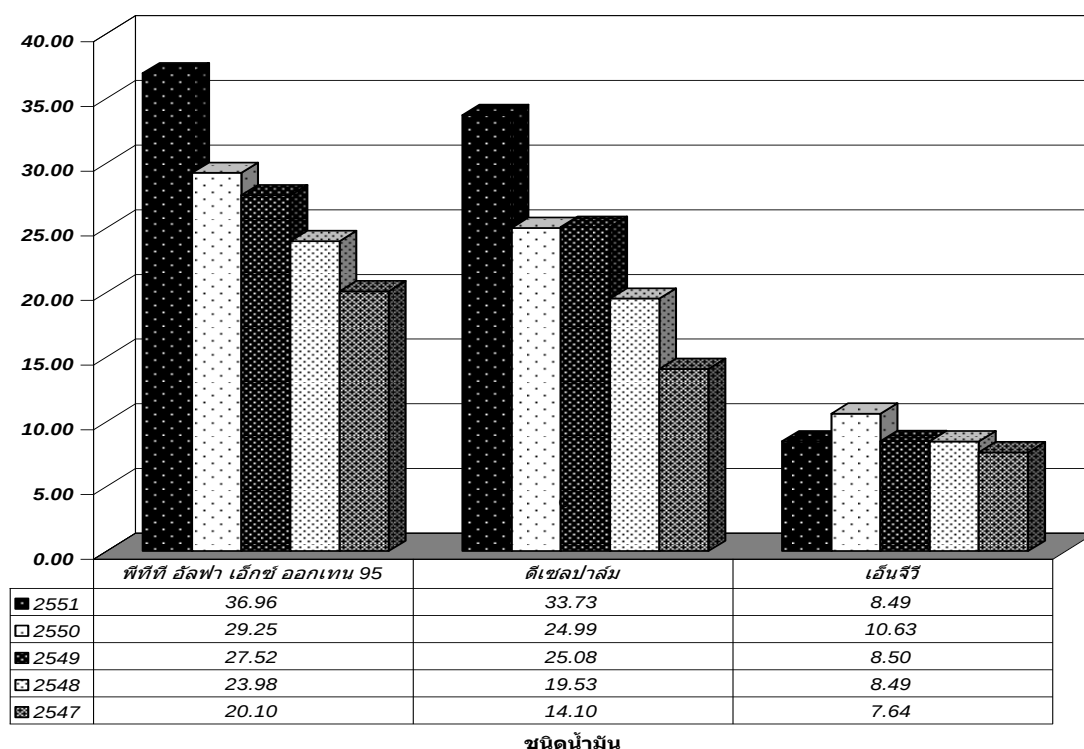
บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

จากสถานการณ์ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงในตลาดโลกที่ปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่กลางปี 2546 จนถึงปัจจุบัน โดยในเดือนกรกฎาคม 2546 ราคาน้ำมันดิบได้ปรับตัวสูงขึ้น 0.14 – 1.29 เหรียญสหรัฐต่อบาร์เรล เนื่องจากผลกระทบของสถานการณ์ความไม่สงบในประเทศอิรักและประเทศในแถบตะวันออกกลาง ซึ่งเป็นผู้ผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงรายใหญ่ของโลก ประกอบกับมีพายุโซนร้อนและเฮอริเคนเคลื่อนตัวเข้าสู่ประเทศสหรัฐอเมริกา ทำให้การผลิตน้ำมันดิบและก๊าซธรรมชาติในบริเวณอ่าวเม็กซิโกต้องหยุดชะงัก รวมถึงผลการประชุมของกลุ่มประเทศโอเปก เมื่อวันที่ 31 กรกฎาคม 2546 ได้มีมติให้คงปริมาณการผลิตไว้ที่ระดับ 25.4 ล้านบาร์เรลต่อวัน [1]

ถึงแม้ว่าตั้งแต่เดือนกันยายน 2549 เป็นต้นมาราคาน้ำมันดิบจะปรับตัวลดลงมาบ้าง แต่ก็ยังคงอยู่ในระดับสูงโดยราคาน้ำมันดิบดูไบเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ระดับ 61 เหรียญสหรัฐต่อบาร์เรล เพิ่มขึ้นจากปี 2548 ถึง 13 เหรียญสหรัฐต่อบาร์เรล ทำให้ราคาขายปลีกน้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซลหมุนเร็วเฉลี่ยในประเทศไทยปี 2549 สูงกว่าปี 2548 เกือบ 4.00 บาทต่อลิตร และ 6.00 บาทต่อลิตร ตามลำดับ ต่อมาในช่วงปี 2550 แม้ว่าระดับราคาน้ำมันจะปรับตัวลดลงบ้างในช่วงต้นปี แต่ก็ปรับตัวเพิ่มขึ้นในช่วงไตรมาสที่สองของปี และคงผันผวนขึ้นลงจนมาคงตัวอยู่ที่ 31 ถึง 33 บาทต่อลิตรในช่วงไตรมาสสุดท้าย แต่พอเข้าปี 2551 ระดับราคาน้ำมันก็เพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งและปรับเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยระดับราคาที่สูงที่สุดเป็นประวัติการณ์ในช่วงปี 2551 ราคาน้ำมันปรับขึ้นไปอยู่ที่ 43.89 บาทต่อลิตร จึงมีผลทำให้ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลปรับเพิ่มขึ้น โดยเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีการปรับปริมาณการใช้เพิ่มขึ้นได้แก่ น้ำมันแก๊สโซฮอล์ (เฉลี่ยวันละ 3.580 ล้านลิตรเพิ่มขึ้นร้อยละ 93) น้ำมันไบโอดีเซล (ดีเซลหมุนเร็วหรือบี 5 เฉลี่ยวันละ 0.110 ล้านลิตรเพิ่มขึ้น 7 เท่า) และ NGV (เฉลี่ยวันละ 10.780 ล้านลูกบาศก์ฟุตเพิ่มขึ้นร้อยละ 67.3) [2] ดังแสดงในรูปที่ 1.1

จากสภาวะดังที่กล่าวมาแล้วทำให้ประเทศไทยประสบกับปัญหาด้านพลังงาน ประกอบกับประเทศไทยมีแหล่งพลังงานธรรมชาติไม่เพียงพอต่ออุตสาหกรรมการผลิตและการบริการของภาคเอกชนและภาครัฐ โดยพลังงานส่วนใหญ่ที่ใช้อยู่ยังต้องพึ่งพาการนำเข้าจากต่างประเทศ โดยเฉพาะพลังงานปิโตรเลียม ซึ่งต้องนำเข้ามาประมาณวันละ 7 แสนบาร์เรล หรือร้อยละ 63 ของการจัดหาทรัพยากรปิโตรเลียมของประเทศ



รูปที่ 1.1 ราคาเฉลี่ยน้ำมันดีเซล ดีเซลปาล์ม และเอ็นจิ้นเปรียบเทียบระหว่างปี 2547 ถึงปี 2551 [3]

โดยน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลนั้นมีปริมาณการบริโภคสูงมากที่สุดเป็นอันดับหนึ่งของผลิตภัณฑ์ด้านพลังงานทั้งหมด เนื่องจากมีความสำคัญต่อการดำเนินการทั้งในภาคอุตสาหกรรม การค้า และการขนส่ง รวมทั้งใช้เป็นวัตถุดิบในระบบสาธารณูปโภคหลัก ๆ ของประเทศ ซึ่งในปี 2551 ราคาน้ำมันมีการปรับราคาอย่างต่อเนื่อง และอย่างที่กล่าวมาแล้วว่า น้ำมันเป็นต้นทุนสำคัญของการขนส่ง โดยกว่าร้อยละ 7.79 ของ GDP หรือเป็นสัดส่วนกว่าร้อยละ 41-43 ของต้นทุนโลจิสติกส์โดยรวมผลกระทบของราคาน้ำมัน ซึ่งทำสถิติในช่วงสัปดาห์ที่ 3 ของเดือนพฤษภาคม 2551 สูงถึง 135 ดอลลาร์ต่อบาร์เรล ย่อมส่งผลกระทบต่อต้นทุนค่าขนส่ง ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วราคาน้ำมันดีเซลที่เพิ่มขึ้น 1 บาท จะส่งผลกระทบต่อต้นทุนค่าขนส่งร้อยละ 4.36 โดยราคาน้ำมันที่ปรับขึ้นตั้งแต่ต้นปี 2550 ทำให้ต้นทุนค่าขนส่งต่อ GDP สูงขึ้นถึงร้อยละ 1.97

จากวิกฤตการณ์ทางด้านน้ำมันของโลกที่มีผลกระทบรุนแรงต่อระบบการเงิน การคลัง รวมทั้งภาคอุตสาหกรรมการผลิตและการบริการของภาคเอกชน และภาครัฐของประเทศ ประเทศไทยจึงต้องทำการจัดหาพลังงานชนิดอื่น ๆ ที่มีอยู่ในประเทศ เพื่อทดแทนการนำเข้าน้ำมันดีเซล และช่วยลดการสูญเสียเงินตราต่างประเทศ รวมทั้งเป็นแหล่งพลังงานสำรอง และสร้างความมั่นคงทางด้านพลังงานให้กับประเทศในยามที่โลกขาดแคลนพลังงาน โดยในปัจจุบันพลังงานทดแทนที่กำลังได้รับความสนใจ และการพัฒนาอย่างต่อเนื่องอยู่ในขณะนี้คือ การนำไขมันและน้ำมันจากสัตว์มาปรับสภาพ เพื่อ

ใช้แทนน้ำมันดีเซล ซึ่งจากคุณสมบัติเฉพาะของน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ซึ่งเป็นสารไม่คงตัว เมื่อสัมผัสกับอากาศน้ำมันหรือไขมันจะถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย น้ำมันจะมีสภาพเป็นสารเหนียวข้นความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซล มีผลต่อการทำงานของหัวฉีดน้ำมันและการระเหยกลายเป็นไอ ส่งผลกระทบต่อระบบการจุดระเบิดของเครื่องยนต์ ทำให้เครื่องยนต์สตาร์ทติดยาก แต่สำหรับไบโอดีเซลเอสเทอร์ ซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด ปัญหาเหล่านี้จึงไม่เกิดขึ้น และไบโอดีเซลเอสเทอร์มีข้อดีที่เหนือกว่าน้ำมันดีเซล คือ มีการเผาไหม้สมบูรณ์กว่า ไอเสียจึงไม่ก่อให้เกิดมลพิษ เป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่า เนื่องจากไม่มีกำมะถันและสารก่อมะเร็ง การผลิตไบโอดีเซลจึงกลายเป็นทางเลือกหนึ่งในการสรรหาพลังงานมาทดแทนพลังงานจากน้ำมันดีเซล เนื่องจากเป็นพลังงานที่ได้จากผลิตผลทางการเกษตร ซึ่งสอดคล้องกับสภาพความเป็นอยู่ของประเทศไทย ที่ประชากรส่วนใหญ่ของประเทศประกอบอาชีพเกษตรกรรม

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการนำน้ำมันจากเมล็ดสำโรงซึ่งเป็นพืชที่ไม่ได้นำมาใช้ประโยชน์อย่างมากในปัจจุบันมาผลิตเป็นไบโอดีเซล เนื่องจากปัจจุบันการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลออกมาใช้แทนน้ำมันดีเซลส่วนใหญ่วัตถุดิบที่นำมาสกัดน้ำมัน เพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยาจะเป็นพืช ซึ่งนำมาสกัดน้ำมันเพื่อการบริโภค เช่น น้ำมันปรุงอาหาร หรือน้ำมันที่มีประโยชน์ด้านอื่น ๆ อยู่ และความต้องการใช้ก็ไม่เพียงพออยู่แล้วในปัจจุบัน ประกอบกับเมล็ดสำโรงมีปริมาณน้ำมันในเมล็ดสูงถึงร้อยละ 52 และยังมีน้ำมันบรรจุอยู่ในเนื้ออีกร้อยละ 20 รวมทั้งน้ำมันที่สกัดจากเมล็ดสำโรงไม่สามารถนำมารับประทานได้โดยตรงหลังจากสกัดเนื่องจากมีสารพิษที่เรียกว่า “Cyclopropenoid Fatty Acid” ผสมอยู่เช่นเดียวกับน้ำมันที่สกัดจากเมล็ดงาหรือเมล็ดฝ้าย [4] ถ้าจะนำมาบริโภคต้องนำน้ำมันที่สกัดได้ไปผ่านกระบวนการกำจัดสารดังกล่าวทิ้งเสียก่อน ซึ่งอาจเป็นการเพิ่มต้นทุนในการผลิต ทำให้ราคาน้ำมันเพิ่มสูงขึ้น จึงอาจจะไม่คุ้มกับทุนที่เสียไปในปัจจุบัน น้ำมันจากเมล็ดสำโรงมีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมเคลือบผิวหน้าเพียงอย่างเดียว จึงน่าสนใจอย่างยิ่งสำหรับการนำน้ำมันจากเมล็ดสำโรงมาผลิตเป็นไบโอดีเซล

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสำโรง
2. เพื่อศึกษาอิทธิพลต่าง ๆ ที่จะมีผลต่อปริมาณการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันที่สกัดจากเมล็ดสำโรงจากการทำปฏิกิริยาในไมโครเวฟ
3. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และทางเชื้อเพลิงของเอสเทอร์ที่เตรียมจากน้ำมันเมล็ดสำโรงโดยการทำปฏิกิริยาในไมโครเวฟ

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. สกัดน้ำมันจากเมล็ดสำโรงด้วยตัวทำละลายอินทรีย์
2. ใช้คลื่นไมโครเวฟเป็นตัวกระตุ้นการดำเนินไปของปฏิกิริยาแทนการให้ความร้อนจากภายนอก
3. ใช้เมธานอลและเอทานอลเป็นแอลกอฮอล์ในสารตั้งต้น โดยมีโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และ โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
4. ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และทางเชื้อเพลิงของเอสเทอร์ของน้ำมันเมล็ดสำโรง เปรียบเทียบกับมาตรฐานของไบโอดีเซลที่กรมธุรกิจพลังงานได้กำหนดไว้

1.4 แนวทางการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาวิธีการสกัดน้ำมันออกจากเมล็ดสำโรง โดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์และการบีบอัดเชิงกล
2. เปรียบเทียบปริมาณน้ำมัน และความคุ้มค่าของน้ำมันเมล็ดสำโรงที่ได้จากทั้ง 2 วิธีในข้อ 1
3. ศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเมล็ดสำโรงบริสุทธิ์
4. ปรับปรุงคุณภาพน้ำมันเมล็ดสำโรงให้อยู่ในรูปของเอสเทอร์
5. ศึกษาผลกระทบต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการดำเนินไปของปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน ได้แก่ อัตราส่วนโมล ความเข้มข้นของปฏิกิริยา ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา และระยะเวลาคงค้างในระบบไมโครเวฟ
6. ตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และทางเชื้อเพลิงของเอสเทอร์ของน้ำมันจากเมล็ดสำโรง และเปรียบเทียบกับคุณสมบัติกับน้ำมันดีเซล และไบโอดีเซลที่ได้จากพืชชนิดอื่น ๆ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นแนวทางในการนำพืชน้ำมันชนิดที่เหมาะสมแก่การบีบน้ำมันเชิงกลมาผลิตเป็นไบโอดีเซล เพื่อลดปริมาณการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ
2. ทราบคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และทางเชื้อเพลิงของไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันเมล็ดสำโรง และเป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าให้แก่ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่มีอยู่ในปริมาณมาก และยังมีได้นำมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด
3. ลดปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลลง ซึ่งจะช่วยบรรเทาสภาวะโลกร้อนที่ปรากฏอยู่ในปัจจุบัน

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การใช้น้ำมันจากพืชหรือสัตว์เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลนั้นเริ่มตั้งแต่คริสต์ศตวรรษที่ 19 โดยรูดอล์ฟ ดีเซล (Rudolph Diesel) ผู้ประดิษฐ์เครื่องยนต์ดีเซลได้นำน้ำมันจากเมล็ดถั่วลิสงเป็นเชื้อเพลิงในการเครื่องยนต์และนำออกแสดงแก่สาธารณะชนในงานปารีสเอ็กซ์โป ในปี 1900 หลังจากนั้นในช่วงปี 1920 มีงานวิจัยเกี่ยวกับการนำน้ำมันปาล์มมาใช้ทดสอบเครื่องยนต์ แต่เนื่องจากขณะนั้นน้ำมันดิบยังมีอยู่ในปริมาณมากและราคาค่อนข้างต่ำ ดังนั้นแนวคิดการนำน้ำมันปาล์มมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลจึงไม่ได้รับความสนใจ ต่อมาได้เกิดวิกฤตการณ์ขาดแคลนน้ำมันขึ้นในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 จึงได้มีการนำน้ำมันจากพืชมาใช้ขับเคลื่อนเครื่องยนต์อีกครั้งแต่ยังไม่เป็นที่แพร่หลาย เนื่องจากเหตุผลที่ว่าค่าใช้จ่ายและต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลยังสูงกว่าการผลิตน้ำมันดีเซลปกติถึง 12.5 เท่า จนกระทั่งปลายทศวรรษที่ 1970 (ระหว่างปีพ.ศ. 2513 ถึง 2522) เริ่มมีงานวิจัยค้นคว้าเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้น้ำมันจากพืชและสัตว์กับเครื่องยนต์ แต่งานวิจัยเหล่านี้กลับพบว่าคุณสมบัติของน้ำมันจากพืชหรือสัตว์ดังกล่าวนั้นยังมีข้อบกพร่องอยู่ ทำให้ไม่สามารถนำมาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลได้อย่างสมบูรณ์ นอกจากจะนำมาผสมใช้ในสัดส่วนที่ต่ำกว่าเท่านั้น ต่อมาในปี 1979 ดอกเตอร์ Charles Peterson แห่งมหาวิทยาลัยไอดาโฮได้เสนอผลงานวิจัยเกี่ยวกับกรรมวิธีการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันที่สกัดได้จากพืชหรือสัตว์ให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากขึ้น จากนั้นจึงเริ่มมีหลายหน่วยงานในภาครัฐและเอกชน รวมทั้งสถาบันการศึกษาทั่วโลกซึ่งเป็นกลุ่มประเทศผู้ใช้น้ำมันทำการวิจัยและพัฒนาคุณภาพเชื้อเพลิงชนิดนี้มากขึ้น จนกระทั่งสามารถผลิตใช้และขายในเชิงพาณิชย์ได้

2.1 ความหมายของไบโอดีเซล

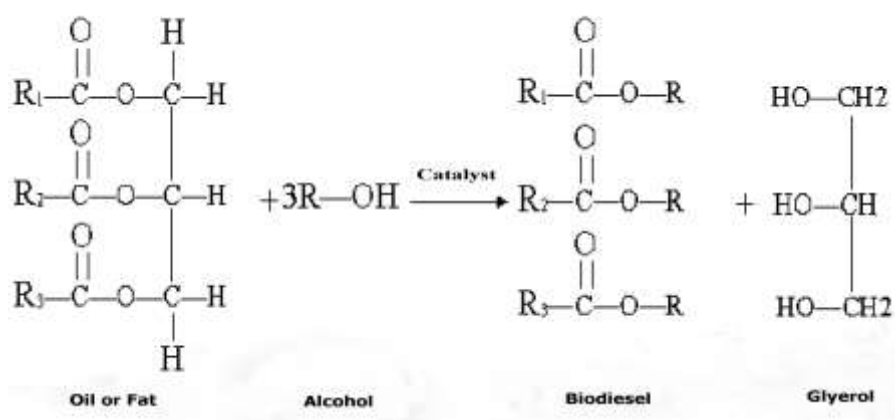
ไบโอดีเซล (biodiesel) หมายถึง เชื้อเพลิงเหลวที่ผลิตได้จากการนำน้ำมันพืชหรือไขมันจากสัตว์มาปรับปรุงสภาพ โดยผ่านกระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชัน ซึ่งเป็นกระบวนการแลกเปลี่ยนหมู่อัลคิล (Alkylating Agent) ในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์จากโมเลกุลของแอลกอฮอล์สายสั้น ได้แก่ เมทานอล และเอทานอล โดยมีกรด ค้าง หรือโลหะอัลคอกไซด์ และความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้ได้ผลผลิตเป็นอัลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน โมเลกุลเดียวกับกรดไขมันอิสระ ซึ่งเป็นองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันจากพืชหรือสัตว์ที่นำมาผลิต หมู่อัลคิลจะแตกต่างกันไปตามชนิดของแอลกอฮอล์ โดยมีเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (Fatty Acid Methyl Ester, FAME) และเอทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (Fatty Acid Ethyl Ester, FAEE) ซึ่งได้มาจากการนำน้ำมันมาทำปฏิกิริยากับเมทานอลและเอทานอล ตามลำดับ ปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชันนั้น เป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ โดยตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์ คือปริมาณของสารตั้งต้น ตัวเร่งปฏิกิริยา กรด ค้าง หรือเอนไซม์

และความร้อน ซึ่งจากปฏิกิริยาทำให้ได้กลีเซอรอลเป็นผลพลอยได้ตามมาด้วย ซึ่งสมการของปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างไตรกลีเซอไรด์ และเมทานอล นั้นมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าปฏิกิริยาทรานเมทิลเลชัน

โดยทั่วไปปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน สามารถใช้ในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงเหลวที่พัฒนามาจากไตรกลีเซอไรด์ได้อย่างดี ซึ่งส่วนใหญ่แอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเป็นแอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่คาร์บอนสั้น ๆ เนื่องจากตัวผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงดีเซลมากกว่า โดยเฉพาะเมทานอลที่มักจะเป็นตัวเลือกอันดับต้น ๆ เนื่องจากนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ได้น้อย แต่เมทานอลมีผลเสียตรงที่มีความเป็นพิษต่อมนุษย์ จึงต้องใช้ความระมัดระวังในการทำปฏิกิริยาสูงมากขึ้น

2.2 กระบวนการผลิตแบบปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification)

ปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนหมู่เอสเทอร์ เป็นกระบวนการเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ให้เป็นสารประกอบเอสเทอร์ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยในการทำปฏิกิริยาจนได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์และกลีเซอรอล ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้นั้นสามารถเป็นได้ทั้งกรด เบส และเอนไซม์ ซึ่งโดยปกติปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์จะเกิดขึ้นได้ค่อนข้างช้ามากและสามารถผันกลับได้ ดังนั้น การทำปฏิกิริยาในห้องทดลองโดยทั่วไปจึงต้องอาศัยตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อกระตุ้นให้มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาและผลผลิตมากขึ้น รวมทั้งควรเพิ่มปริมาณของแอลกอฮอล์ตั้งต้นให้เกินความต้องการของระบบ เพื่อให้สมดุลของปฏิกิริยาเลื่อนไปในทิศทางทางสังเคราะห์ผลิตภัณฑ์หรือเอสเทอร์ให้มากที่สุด โดยลักษณะการดำเนินไปของปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน และตัวอย่างโครงสร้างชนิดของกลีเซอรอลดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน

ซึ่งงานวิจัยต่าง ๆ ในตอนเริ่มต้นนั้นจะเป็นการศึกษาและค้นคว้าในปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้เมธานอลเป็นสารตั้งต้น เมธานอลเป็นแอลกอฮอล์ที่มีราคาค่อนข้างต่ำแต่ไม่สามารถผลิตได้จากพืช นักวิจัยเลยหันมาใช้เอธานอลซึ่งเป็นแอลกอฮอล์ที่สามารถผลิตขึ้นจากกระบวนการผลิตทางเกษตรอุตสาหกรรม สามารถขยายปริมาณการผลิตให้เพิ่มปริมาณมากขึ้นได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงหาได้ง่ายเหมือนกับน้ำมันพืชทั่วไป นอกจากนี้ยังสามารถนำมาทำให้บริสุทธิ์ด้วยกระบวนการที่ใช้พลังงานต่ำ เพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการผลิตซ้ำใหม่ได้ต่อเนื่องหลายครั้ง จากเหตุผลดังกล่าว Encinar และคณะ [5] จึงทำการศึกษาปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันที่สกัดจากพืชตระกูล *Cynara Cardunculus L.* พื้นเมือง ด้วยการทำปฏิกิริยากับเอธานอล โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาตั้งแต่ 25 ถึง 75 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา ร้อยละ 0.25 ถึงร้อยละ 1.50 โดยน้ำหนัก และอัตราส่วนของเอธานอลต่อน้ำมันที่ 3:1 ถึง 15:1 โมลาร์ พบว่า อัตราส่วนโมลของเอธานอลต่อน้ำมันที่เหมาะสมคือ 12:1 ที่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส จะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลหมายเลข 2 มากที่สุด ซึ่งขัดแย้งกับทฤษฎีของ “สมดุลมวลสารสัมพัทธ์” ที่กล่าวว่า ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันที่สมบูรณ์จะอยู่ที่ โมลของปฏิกิริยาระหว่างแอลกอฮอล์ต่อกลีเซอรอลคือ 3:1 จึงสันนิษฐานว่าปริมาณแอลกอฮอล์ที่เพิ่มขึ้นนี้ก็เพื่อให้เกิดผลิตภัณฑ์อัลคิลเอสเทอร์มากขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันนี้เป็นปฏิกิริยาที่สามารถผันกลับได้ จึงจำเป็นต้องเพิ่มจำนวนโมลของแอลกอฮอล์ให้มากขึ้น เพื่อผลักดันให้ปฏิกิริยาดำเนินไปในทางเกิดผลิตภัณฑ์มากที่สุด

2.3 น้ำมันเมล็ดตำโรง

พันธุ์ไม้วงศ์นี้มีทั้งไม้ต้น ไม้พุ่ม และพืชล้มลุก กิ่งอ่อน ยอดอ่อน และใบ มักมีขนแยกแขนงหรือสะเก็ดรูปดาวเล็ก ๆ ไม้ยืนต้นที่รู้จักกันโดยทั่วไปได้แก่ ตำโรง (*Sterculia Foetida*) เปลือกต้นมักมีเส้นใยเหนียว ลอกออกได้ยาว เมื่อยังสดอยู่มักมีเมือกเหนียว ใบ มีทั้งใบเดี่ยว และใบประกอบรูปฝ่ามือ โคนใบมักมีเส้นแยกจากเส้นแขนงกลางใบเด่นชัด ก้านใบมักงอทำมุมกับตัวใบ ดอก มีทั้งชนิดดอกสมบูรณ์เพศ และดอกแยกเพศ ออกเป็นช่อตามกิ่งและตามง่ามใบ พบน้อยมากที่ออกตามปลายกิ่ง กลีบรองดอก 3-5 กลีบ โคนกลีบมักเชื่อมติดกัน กลีบดอก 0-5 กลีบ มักเชื่อมติดกับก้านท่อของเกสรเพศผู้ เกสรเพศผู้มีตั้งแต่ 5 อันขึ้นไป ก้านเกสรเชื่อมติดกันเป็นท่อนสั้น ๆ ฝังไข้อยู่เหนือกลีบรองดอก โดยมากมักจะมีจำนวน 2-5 หน่วย แต่ละหน่วยเชื่อมติดกับก้านเกสรเพศเมีย ปลายก้านเกสรเพศเมียแยกเป็นแฉกเท่ากับจำนวนของรังไข่ ในรังไข่แต่ละหน่วย ไข่อ่อนมีตั้งแต่ 1 หน่วยขึ้นไป ผล มีทั้งผลแห้งแล้วแตก และไม่แตก ดังรูปที่ 2.15 โดยพันธุ์ไม้นี้ในวงศ์นี้ทั่วโลกมีประมาณ 60 สกุล 700 ชนิด กระจายพันธุ์ในประเทศไทย 21 สกุล 58 ชนิด เช่น สกุลปอหลังแก้ว (*Commersoia*)

สกุลหงอนไก่ (Heritiera) สกุลผักหวานดำ (Leptonychia) สกุลเสี้ยน (Melochia) สกุลตำโรง (Sterculia) และสกุลตานทราย (Waltheria) เป็นต้น

2.3.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

สกุลตำโรง (*Sterculia* Linn.) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า “*Sterculia Foetida* L.” ชื่อวงศ์ “*Sterculiaceae*” ชื่อสามัญ “*Bastard Poom* , *Pinari*” ชื่อพื้นเมือง “จำมะโสม มะโรง มะโหรัง โหมรง” โดยมีถิ่นกำเนิดในแถบเอเชียเขตร้อน พบอยู่ทั่วทุกภาคของไทย พันธุ์ไม้สกุลนี้เป็นไม้ต้นหรือไม้พุ่ม ลักษณะทั่วไป จะเป็นไม้ต้นขนาดใหญ่ สูงได้ถึง 30 เมตร ผลัดใบ เรือนยอดรูปไข่ ถึงทรงกระบอก ลำต้นตรง โคนมีพูพอนต่ำๆ เปลือกเรียบสีน้ำตาลปนเทา



รูปที่ 2.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของต้นตำโรง

ใบ มีทั้งชนิดใบเดี่ยวและใบประกอบรูปฝ่ามือ กางแผ่ออกเรียงเวียนจากจุดเดียวกันสลับรอบกิ่ง มีใบย่อย 5-7 ใบ รูปรี หรือรูปรีแกมรูปขอบขนาน กว้าง 3.5 ถึง 6 เซนติเมตร ยาว 10 ถึง 30 เซนติเมตร ปลายใบแหลมหรือมีติ่งแหลม โคนใบรูปปลีมน แผ่นใบหนา ใบเกลี้ยง เส้นแขนงใบข้างละ 17 ถึง 21 เส้น ก้านใบประกอบยาว 13 ถึง 20 เซนติเมตร ก้านใบย่อยยาว 3 ถึง 5 เซนติเมตร และงอทำมุมกับแผ่นใบ

ดอก แยกเพศ อยู่ต่างต้น มีสีแดงหรือสีแสด มีกลิ่นเหม็นมาก ออกรวมเป็นช่อแบบช่อแยก มีแขนงที่ปลายกิ่ง หรือช่อใบ ปลายกิ่งช่อดอกยาว 10 ถึง 30 เซนติเมตร กลีบเลี้ยง 5 กลีบ ปลายม้วนออก ดอกบานเต็มที่ กว้าง 2 ถึง 2.5 เซนติเมตร ช่อดอกมักย้อยห้อยลง โคนกลีบเชื่อมติดกันเป็นรูปถ้วย ไม่มีกลีบดอก ก้านชูอับละอองเกสรเพศผู้เชื่อมติดกันเป็นหลอดยาว มีอับละอองเกสรติดเป็นกลุ่มอยู่ตอนปลายของหลอด 5 ถึง 15 อัน รังไข่ 3 ถึง 6 หน่วย แต่ละหน่วยมีไข่อ่อน 2 หน่วย ขึ้นไป

ผล เกิดเป็นกลุ่ม กลุ่มหนึ่ง ๆ มี 1 ถึง 5 ผล ผลแห้งแตกรูปไต เปลือกแข็งเหมือนไม้ สีแดงปนน้ำตาล ผิวมันและเกลี้ยง เมื่อแก่แตก้าออกทางด้านใน แบ่งเป็นสองซีกกว้าง 6 ถึง 9 เซนติเมตร ยาว 8 ถึง 10 เซนติเมตร ทำให้มีลักษณะคล้ายดอกบานกระจายสวยงามมาก

เมล็ด กลมมน หรือทรงกระบอก มีเปลือกบาง ๆ สีน้ำตาล หรือสีดำหุ้มชั้นนอกอีกชั้นหนึ่ง รูปขอบขนาน กว้างประมาณ 0.3 เซนติเมตร ยาว 2.5 เซนติเมตร ประกอบด้วยเปลือกชั้นนอก (Epicarp) ร้อยละ 4 ชั้นกลาง (Mesocarp) ร้อยละ 19 เปลือกชั้นใน (Endocarp) ร้อยละ 27 และเนื้อชั้นใน (Kernel or Endosperm) ร้อยละ 50

ระยะการออกดอก ประมาณเดือน พฤศจิกายน-ธันวาคม ออกผลประมาณ มกราคม-เมษายน

การขยายพันธุ์ ลำโพงพบขึ้นตามป่าเบญจพรรณชื้นและป่าดิบแล้งทั่วไป ที่สูงจากระดับน้ำทะเล 100 ถึง 600 เมตร การขยายพันธุ์โดยการเพาะเมล็ด

ประโยชน์ เนื้อไม้ สีน้ำตาลอมเทา เนื้อหยาบและค่อนข้างเหนียว เลื่อยผ่าไสกบตบแต่งง่าย ใช้ทำกระดาน เครื่องเรือน หีบใส่ของ รองเท้าไม้ หูกทอผ้า ไม้จิ้มฟัน ก้านและกลักไม้ขีดไฟ ไม้อัด เปลือกใช้ทำเชือกอย่างหยาบ ๆ น้ำมันจากเนื้อในเมล็ดใช้ปรุงอาหารและใช้จุดไฟ ใบ เป็นยาระบาย ผลเป็นยาสมานท้องและแก้โรคไต

2.3.2 องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของน้ำมันเมล็ดตำโรง

เนื้อชั้นในมีลักษณะคล้ายเนื้ออัลมอน เนื้อซึ่งเป็นส่วนของผลมีน้ำมันประมาณร้อยละ 20 และเมล็ดมีน้ำมันประมาณร้อยละ 52 น้ำมันทั้งสองชนิดมีลักษณะและคุณสมบัติคล้ายกัน โดยมีองค์ประกอบทางเคมี และสมบัติทางกายภาพ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันเมล็ดตำโรง [4]

Property	
Iodine Value	76 - 88
Acid Value (Crude)	4 – 5
Saponification Value	190 - 193
Unsaponifiable Matter	-
Specific Gravity 25/25 °C	0.9224 – 0.9264
Refractive Index	59 - 60

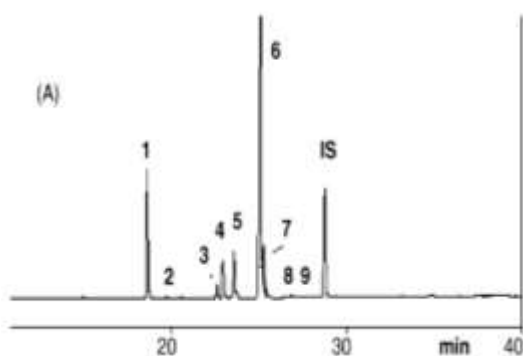
การศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดตำโรงนั้นได้รับความสนใจจากนักวิจัยอย่างแพร่หลาย แต่โดยส่วนมากจะเป็นงานวิจัยที่เน้นไปทางการศึกษาสาร Cyclopropenoid ซึ่งเป็นสารพิษในน้ำมันของเมล็ดตำโรง โดย Xiaoming Bao และคณะ [6] ได้ศึกษาสาร Cyclopropane ในเนื้อเยื่อของเมล็ดและใบของต้นตำโรง พบว่า สารดังกล่าวจะพบในเมล็ดแต่ไม่มีในใบ ซึ่ง Cyclopropane Synthase ที่พบเป็นองค์ประกอบในเมล็ดตำโรงนั้นเป็นสารที่พัฒนามาจากกลุ่มของ Methylene Sadenosylmethionine ที่พันธะ Cis Double ของกรดโอเลอิก นอกจากนั้น Xiaoming Bao และคณะยังทำการศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของโปรตีนที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อของส่วนที่ได้จากเมล็ดและใบพบว่าทั้งสองส่วนมีโปรตีนบรรจุอยู่ในเยื่อหุ้มเซลล์ในวงจำกัดอีกด้วย ส่วน Sabria Aued-Pimentel และคณะ [7] ก็มีความสนใจที่จะศึกษาองค์ประกอบของกรดไขมันใน *Sterculia Striata* แล้วนำมาเปรียบเทียบกับกรดไขมันพบในน้ำมันเมล็ดตำโรงโดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟีและแมสสเปกโตรเมทรี ซึ่งการวิจัยดังกล่าวค้นพบว่าสาร Cyclopropenoid Fatty Acids ที่ค้นพบใน *Sterculia Striata* นั้นมีลักษณะคล้ายกับที่ค้นพบในเมล็ดตำโรงทั้งก่อนและหลังทำปฏิกิริยาทรานเมทิลเลชันด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเบส ซึ่งผลสรุปที่สอดคล้องกันนี้แสดงให้เห็นว่าส่วนมากแล้วพืชในวงศ์ตำโรงจะมีสารดังกล่าวผสมอยู่ จึงอาจกล่าวได้ว่ากรดไขมัน Cyclopropenoid นี้เป็นลักษณะเด่นของพืชในวงศ์ตำโรง คุณสมบัติที่ Sabria Aued-Pimentel และคณะ [7] ตรวจสอบได้นั้นมีดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบของกรดไขมันที่ตรวจสอบได้ใน *Sterculia Striata* เปรียบเทียบกับกรดไขมันที่ได้จากเมล็ดสำโรง [7]

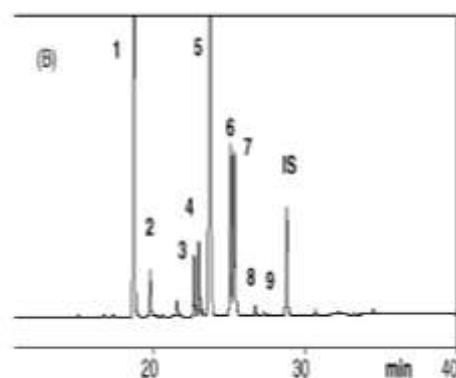
Fatty acids composition from *Sterculia striata* and *Sterculia foetida* seed oils (fatty acid methyl ester C_{21:0} as internal standard)

Peak	Fatty acid	<i>Sterculia foetida</i> (g/100 g of oil) N=3		<i>Sterculia striata</i> (g/100 g of oil) N=3	
		Mean ± S.D.	R.S.D.%	Mean ± S.D.	R.S.D.%
1	C _{16:0}	15 ± 1	6.7	20.8 ± 0.8	3.8
2	C _{16:1}	0.13 ± 0.02	15.4	2.06 ± 0.08	3.9
3	C _{18:0}	1.66 ± 0.08	4.8	2.80 ± 0.09	3.2
4	Malvalic acid ^a	5.4 ± 0.5	9.3	3.9 ± 0.2	5.1
5	C _{18:1 cis w9 + w7}	5.6 ± 0.6	10.7	30 ± 1	3.3
6	Sterculic acid ^b	54 ± 2	3.7	11.2 ± 0.6	5.4
7	C _{18:2 cis/cis}	7.7 ± 0.4	5.2	9.6 ± 0.3	3.1
8	C _{18:3}	0.20 ± 0.02	10.0	0.18 ± 0.02	11.1
9	C _{20:0}	0.15 ± 0.02	13.3	0.56 ± 0.03	5.4

โดยโครมาโตแกรมที่ Sabria Aued-Pimentel และคณะ [7] ได้แสดงออกมามีลักษณะดังรูปที่ 2.3 และ 2.4

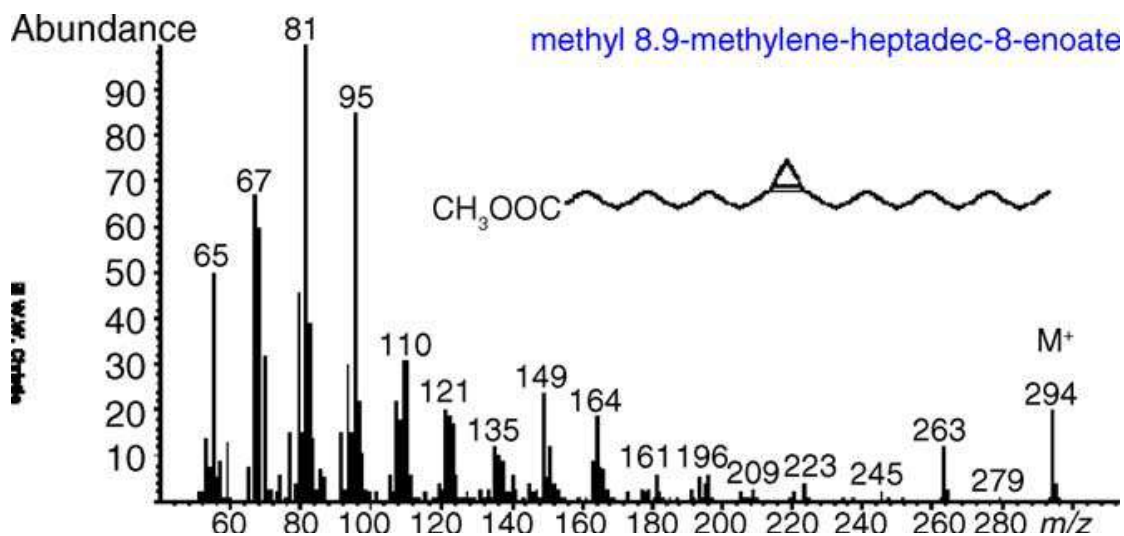


ก. GC-FID Chromatogram of the Fatty Acid Methyl Esters from *S. Foetida*

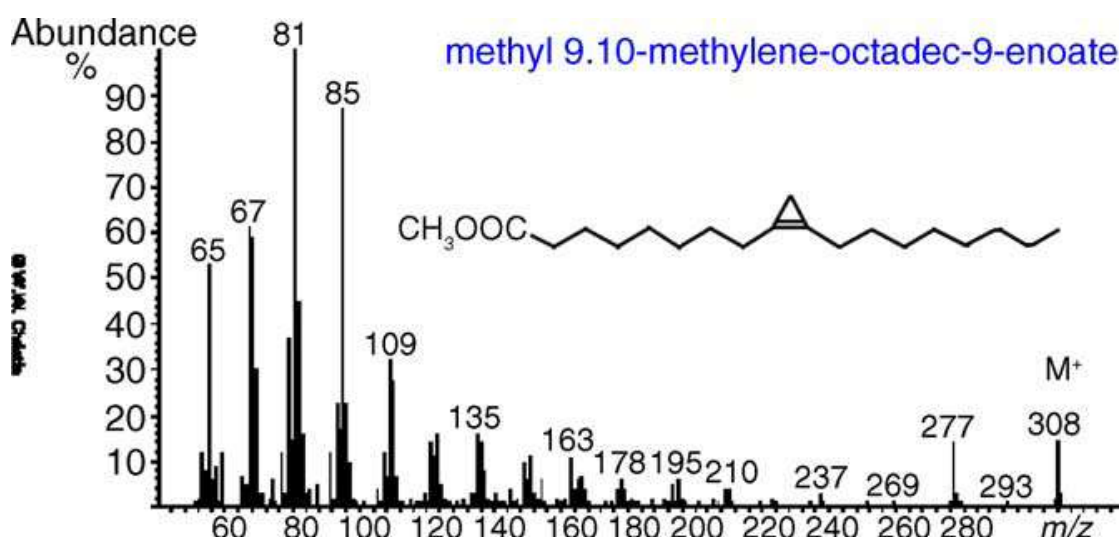


ข. GC-FID Chromatogram of the Fatty Acid Methyl Esters from *S. Striata*

รูปที่ 2.3 โครมาโตแกรมที่ Sabria Aued-Pimentel และคณะ [7] ได้ฉีดทดสอบเอสเทอร์ที่เตรียมจากน้ำมันของพืชตระกูลสำโรง ด้วยเครื่อง GC-FID (1) palmitic acid C_{16:0}; (2) palmitoleic acid (C_{16:1 cis} 9); (3) stearic acid (C_{18:0}); (4) not identified by FID; (5) octadecenoic acid (C_{18:1 cis} w9 + w7); (6) not identified by FID; (7) linoleic acid (C_{18:2 cis/cis} 9, 12); (8) araquidic acid C_{20:0}; (9) linolenic acid (C_{18:3 cis/cis/cis} 9, 12, 15); IS – Internal standard (C_{21:0})



ก. Mass Spectrum of Sterculic Acid Methyl Ester



ข. Mass Spectrum of Malvalic Acid Methyl Ester

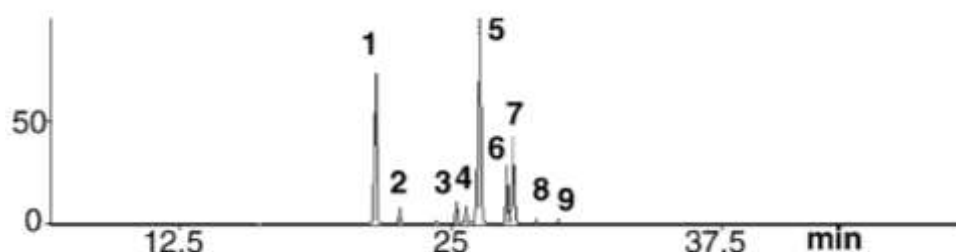
รูปที่ 2.4 โครมาโตแกรมที่ Sabria Aued-Pimentel และคณะ [7] ได้ฉีดทดสอบเอสเทอร์ที่เตรียมจากน้ำมันของพืชตระกูลส้มจากเครื่อง GC/MS

จากรูปที่ 2.3 ซึ่งแสดงโครมาโตแกรมที่ Sabria Aued-Pimentel และคณะ [7] ได้ฉีดทดสอบตัวอย่างเอสเทอร์ที่เตรียมจากน้ำมันของพืชตระกูลส้ม โดยรูปที่ 2.3 ก. เป็นโครมาโตแกรมที่ได้จากการฉีดสารตัวอย่างกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ (Fatty Acid Methyl Esters) ของน้ำมันเมล็ดส้มในตระกูล

Sterculia Foetida ด้วยเครื่อง GC-FID Chromatogram และ รูปที่ 2.3 ข. เป็นโครมาโตแกรมที่ได้จากการฉีดสารตัวอย่างกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ (Fatty Acid Methyl Esters) ของน้ำมันที่ได้จากเมล็ดสำโรงในตระกูล *Sterculia Striata* ด้วยเครื่อง GC-FID Chromatogram เช่นเดียวกัน

จากข้อมูลที่ได้ Sabria Aued-Pimentel และคณะ ไม่สามารถระบุสารที่แสดงพีกในหมายเลข 4 และ 6 ด้วยเครื่อง GC-FID Chromatogram ได้ Sabria Aued-Pimentel และคณะ จึงต้องปรับเปลี่ยนวิธีการตรวจสอบสารมาเป็นเครื่อง Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS) แทนการใช้เครื่อง GC-FID Chromatogram เพื่อตรวจหาชนิดของสารในพีกหมายเลข 4 และ 6 แทน ซึ่งการตรวจสอบด้วยเครื่อง GC/MS นี้แสดงว่าสารในพีกหมายเลข 4 และ 6 ดังกล่าวนั้นเป็นสารในตระกูล Cyclopropenoid ชนิด Malvalic Acid (หมายเลข 4) และ Sterculic Acid (หมายเลข 5) โดยโครมาโตแกรมที่ได้จากเครื่อง GC/MS ดังแสดงในรูปที่ 2.4

และจากการฉีดวิเคราะห์สารในพืชตระกูลสำโรงจากทั้งสองวิธีคือ GC-FID Chromatogram และ GC/MS ทำให้ Sabria Aued-Pimentel และคณะนั้นสามารถระบุสารที่เป็นองค์ประกอบของพืชในตระกูลสำโรงไว้ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 โครมาโตแกรมสรุปที่ Sabria Aued-Pimentel และคณะ [7] ได้ฉีดทดสอบเอสเทอร์ที่เตรียมจากน้ำมันของพืชตระกูลสำโรง ด้วยเครื่อง GC-FID และ GC/MS (1) Palmitic acid C16:0; (2) palmitoleic acid (C16:1 *cis* 9); (3) stearic acid (C18:0); (4) malvalic acid; (5) oleic + vacenic acids (C18:1 *cis* 9 + *cis* 11); (6) sterculic acid; (7) linoleic acid (C18:2*cis/cis* 9, 12); (8) araquidic acid (C20:0); (9) linolenic acid (C18:3 *cis/cis/cis* 9, 12, 15)

จากรูปที่ 2.5 ซึ่งแสดงโครมาโตแกรมสรุปที่ Sabria Aued-Pimentel และคณะ [7] ได้ฉีดทดสอบตัวอย่างเอสเทอร์ที่เตรียมจากน้ำมันของพืชตระกูลสำโรงด้วยเครื่อง GC-FID และ GC/MS นี้แสดงให้เห็นว่าพืชในตระกูลสำโรงทั้งสองตัวนั้นมีสารประกอบหลักเหมือนกัน

นอกเหนือจากนักวิจัยทั้งสองท่านยังมีงานวิจัยที่น่าสนใจของ Gaydou และคณะ [8] ได้ศึกษาองค์ประกอบของกรดไขมันในเมล็ดและน้ำมันจากพืชตระกูลตำโรงที่พบในมาดากัสกา(Madagascar) พบว่า ปริมาณน้ำมันและโปรตีนที่บรรจุอยู่ในเมล็ดของพืชตระกูลตำโรงที่เจริญเติบโตในประเทศมาดากัสกา (Madagascar) มีทั้ง 17 สปีชีส์ ใน 9 จินัส โดยกรดไขมันที่พบส่วนใหญ่ เช่น ปาล์มมิติก (Palmitic Acid) โอเลอิก (Oleic Acid) ไลโนเลอิก (Linoleic Acid) มาโวลิก (Malvalic Acid) และ สเตอคูลิก (Sterculic Acid) เป็นต้น ซึ่งน้ำมันที่ได้จากเมล็ด *Heriticia littoralis* มีส่วนผสมของมาโวลิก ((Malvalic Acid) มากที่สุด ส่วนในประเทศไทยนั้น ไพจิตร จันทรวงษ์ ได้ทำการตรวจสอบองค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันเมล็ดตำโรงในรูปเมทิลเอสเทอร์ไว้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันเมล็ดตำโรงในรูปเมทิลเอสเทอร์ [4]

Fatty Acid	(%Methyl Ester)
Saturated	
Myristid	0.26
Palmitic	19.67
Stearic	2.20
Total Saturated	22.13
Unsaturated	
Oleic	7.18
Linoleic	4.71
Linolenic	1.56
Malvalic	8.87
Sterculic	55.64
Total Unsaturated	77.87

บทที่ 3 อุปกรณ์ สารเคมี และวิธีดำเนินการวิจัย

ในขั้นตอนการดำเนินการวิจัย เพื่อผลิตน้ำมันไบโอดีเซล และศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดสำโรง จะมีอุปกรณ์ สารเคมี และวิธีดำเนินการวิจัย ดังนี้

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยในงานวิจัยชิ้นนี้ จะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

3.1.1 วัสดุอุปกรณ์

- ตู้ไมโครเวฟ (Microwave) ขนาดกำลังไฟฟ้า 1100 วัตต์
- ตู้อบความร้อน (Oven)
- Desiccator
- เครื่องระเหยสุญญากาศ (Rotary Evaporator)
- เครื่องชั่งสารละเอียด 4 ตำแหน่ง (Analytical Balance) รุ่น AJ150 ผลิตโดยบริษัท Mettler Co.,Ltd
- เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ซึ่งใช้คอลัมน์ชนิด Phenogel ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 7.8 มิลลิเมตร ความยาว 300 มิลลิเมตร ขนาดอนุภาคบรรจุ 5 ไมครอน ความพรุน (Porosity) 100 อังตรอม โดยใช้เครื่องตรวจวัดชนิด ELSD
- เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography) บริษัท Shimadzu รุ่น GC14A คอลัมน์ชนิดคาปิลลารีคอลัมน์ RTX-2330 ความยาว 30 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.25 มิลลิเมตร วัสดุภาคนิ่ง 10% Cyanopropylphenyl-90% Biscyanopropyl polysiloxane ความหนาของฟิล์ม 0.2 ไมครอน
- เครื่อง Vortex Genic 2 รุ่น G-560E ของบริษัท Scientific Industries ประเทศสหรัฐอเมริกา
- เครื่องวัดความชื้น 756 KF Coulometer Metrohm Ltd. CH-9101 Herisau Switzerland
- เครื่องวัดความหนืด
- เครื่องแก้ว เช่น ขวดก้นกลม (Round Bottom Flask) ปีกเกอร์ (Beaker) ปิเปต (Pipet) กระบอกตวง (Measuring Cylinder) กรวยแก้ว (Funnel) บิวเรต (Buret) หลอดทดลองฝาเกลียว
- เครื่องบด (blender)

3.1.2 สารเคมี

- โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium Carbonate; Na_2CO_3) analytical grade ของบริษัท Fluka Chemical สวิตเซอร์แลนด์
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide; NaOH) pellets GR for analysis บริษัท Merck, Germany
- โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide; KOH) Reagent Grade ของบริษัท Scharlau Chemie ประเทศสเปน
- โทลูอิน (toluene; $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$) ของบริษัท แล็บสแกน เอเชีย (Lab-Scan Asia Ltd.,) ประเทศไทย
- เอทานอลบริสุทธิ์ปราศจากน้ำ (Absolute Ethanol) 99.8% v/v max ของ Liquor Distillery Organization ประเทศไทย
- เมทานอล (Methanol) Analytical Reagent A.R. บริษัท Lab Scan, Ireland
- โซเดียมเมทอกไซด์ (Sodium Methoxide ; NaOCH_3) ของบริษัท Fluka Chemical ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
- โซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัส (Sodium sulfate anhydrous ; Na_2SO_4) ของบริษัท Merck ประเทศเยอรมนี
- กรดอะซิติก กลacial (Glacial Acetic acid ; CH_3COOH) ของบริษัท แล็บสแกน เอเชีย (Lab-Scan Asia Ltd.,) ประเทศไทย
- เฮกเซนทางการค้า (Commercial Hexane) ของบริษัท แล็บสแกน เอเชีย (Lab-Scan Asia Ltd.,) ประเทศไทย

3.1.3 ตัวอย่างน้ำมัน

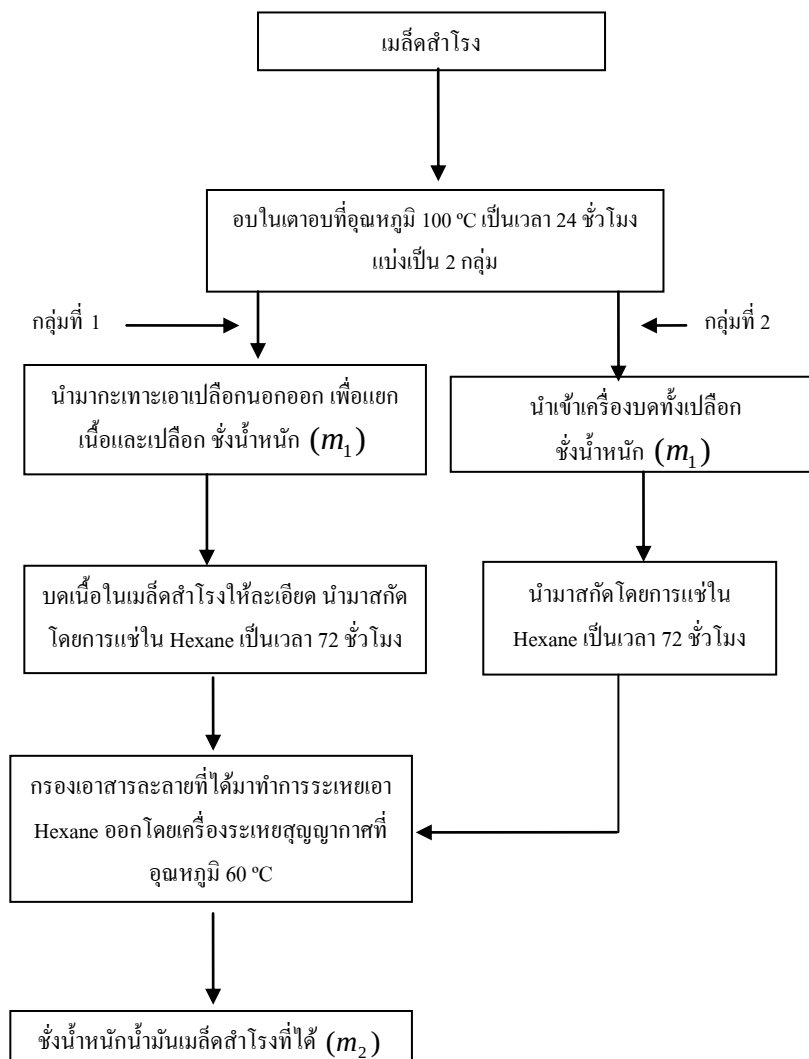
น้ำมันเมล็ดตำโรงบริสุทธ์ โดยเมล็ดเก็บจาก 3 จังหวัดคือ จังหวัดราชบุรี จังหวัดเพชรบุรี และจังหวัดประจวบคีรีขันธ์

3.2 วิธีการดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัยในงานวิจัยฉบับนี้ เริ่มต้นจากการสำรวจหาแหล่งที่มีต้นตำโรงปลูกอยู่ในปริมาณมาก ซึ่งก็คือ จังหวัดราชบุรี จังหวัดเพชรบุรี และจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ เมื่อได้เมล็ดมาแล้ว จะต้องทำการคัดแยกเมล็ดเสียทิ้ง จากนั้นนำไปตากแดด 1 วันเพื่อกำจัดความชื้น และป้องกันเชื้อรา โดยเมื่อนำไปหาความชื้นในภายหลังปรากฏว่าเหลือความชื้นประมาณร้อยละ 7 ถึง 9 ของมาตรฐานแห้งแล้วเก็บใส่ถุงพลาสติกมัดปากถุงให้เรียบร้อย บันทึกวันที่และน้ำหนักติดไว้ที่ถุง เพื่อดำเนินการในห้องทดลองต่อไป ดังนี้

3.2.1 การหาปริมาณน้ำมันในส่วนต่างๆ ของเมล็ดลำโรง

การหาปริมาณน้ำมันในส่วนต่าง ๆ ของเมล็ดลำโรง (Total oil) มีวิธีและขั้นตอนการทดลองตามแผนผังในรูปที่ 3.1 โดยการคำนวณร้อยละของปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ตามสมการที่ (3.1)



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการหาปริมาณน้ำมันในส่วนต่างๆ ของเมล็ดลำโรง

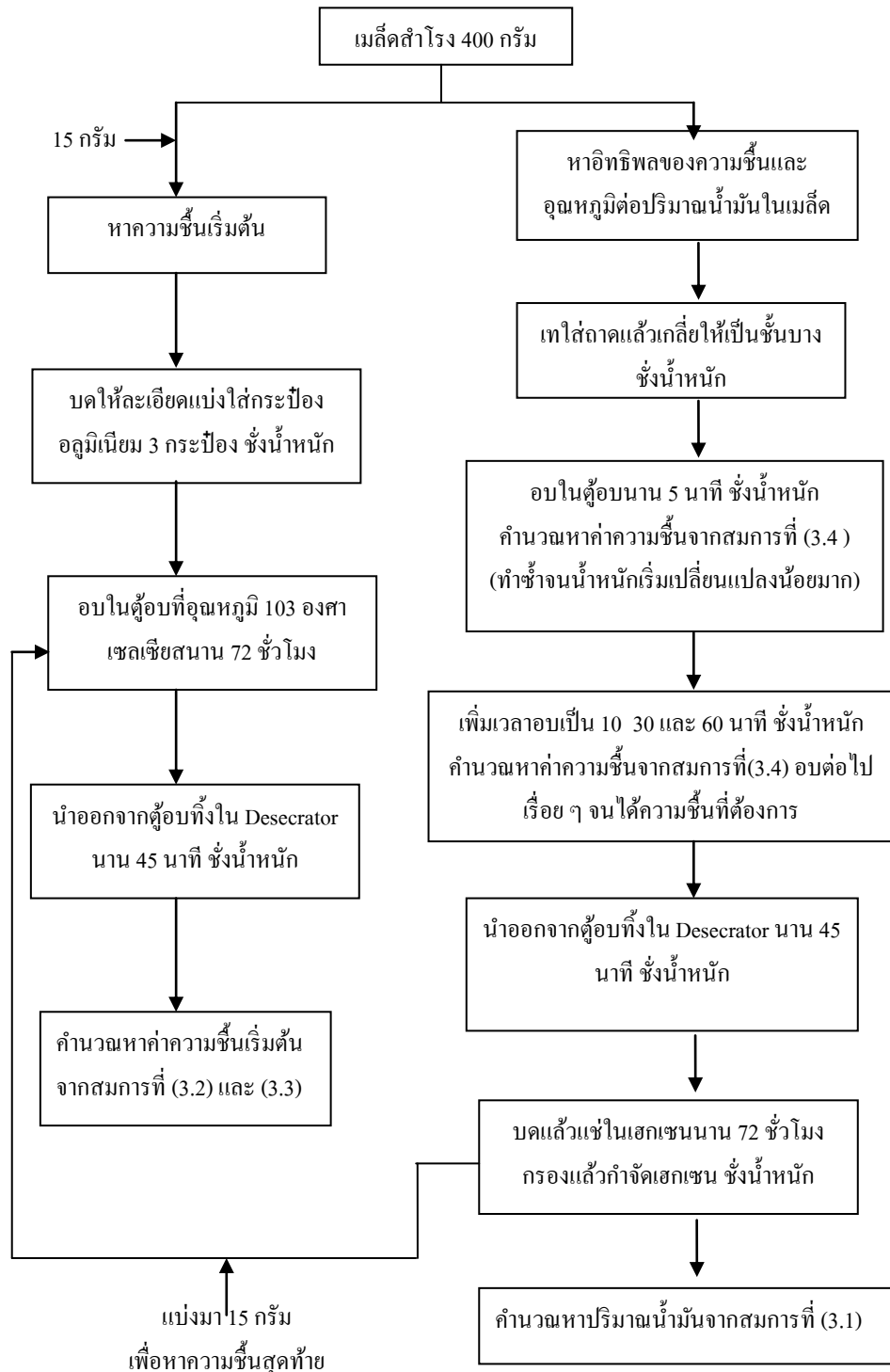
คำนวณเปอร์เซ็นต์น้ำมัน (%Total Oil)

$$\text{Total Oil} = \frac{m_2}{m_1} \times 100 \quad (3.1)$$

เมื่อ m_1 คือ น้ำหนักเมล็ดหลังอบ
 m_2 คือ น้ำหนักน้ำมันที่สกัดได้

3.2.2 การศึกษาอิทธิพลต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้

การศึกษาอิทธิพลต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ จะต้องควบคุมสารที่เป็นตัวทำละลาย ปริมาณตัวทำละลาย และระยะเวลาในการสกัด ซึ่งตัวทำละลายในงานวิจัยชิ้นนี้คือ เฮกเซน (Hexane) ปริมาณ 300 มิลลิลิตร โดยใช้เวลาในการสกัด 72 ชั่วโมง สามารถแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 3.2



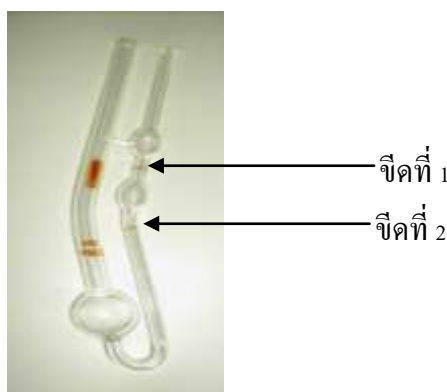
รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการศึกษาอิทธิพลต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดตำโรง

3.2.3 การหาปริมาณความชื้นของน้ำมันเมล็ดตำโรง

1. คัดตัวอย่างน้ำมันเมล็ดตำโรง 0.5 มิลลิลิตร ด้วย Syringe ขนาด 3 มิลลิลิตร นำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง บันทึกผล
2. นิดน้ำมันตัวอย่างเข้าเครื่องวัดความชื้น 756 KF Coulometer
3. นำ Syringe ไปชั่งหาน้ำหนักที่หายไป นำค่าน้ำหนักที่ได้ป้อนใส่เครื่องวัดความชื้น วิเคราะห์ผลที่ได้

3.2.4 การหาค่าความหนืดของน้ำมันเมล็ดตำโรง

1. คูดน้ำมันเมล็ดตำโรงตัวอย่าง 10 มิลลิลิตร บรรจุลงใน Viscometer ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.3 ลักษณะของ Viscometer

2. แ่ Viscometer ลงใน Water bath ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส แล้วใช้ลูกยางคูดน้ำมันเมล็ดตำโรงให้เลยจุดที่ 1
3. ปล่อน้ำมันเมล็ดตำโรงให้ไหลลงมา แล้วทำการจับเวลา โดยเริ่มจับเวลาดังแต่น้ำมันเมล็ดตำโรงเริ่มไหลจากจุดที่ 1 มายังจุดที่ 2 ของกระเปาะ บันทึกผล นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าความหนืดจากสมการที่ (3.5)

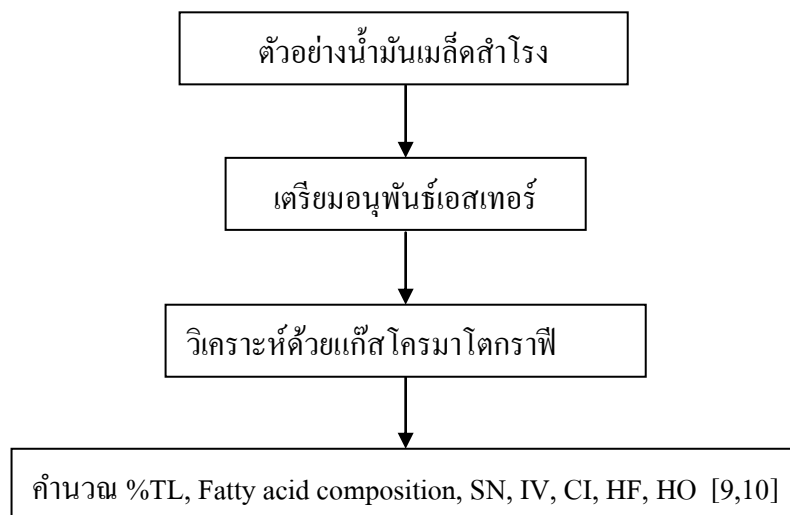
$$\text{ค่าความหนืด} = \frac{t_{\text{sample}} \times t_{\text{standard1}}}{t_{\text{standard2}}} (\text{mm}^2 / \text{s}) \quad (3.5)$$

เมื่อ

$t_{\text{standard1}}$	= เวลาที่วัดได้ของสารมาตรฐานจากบริษัทผู้ผลิตสารมาตรฐาน (นาท)
$t_{\text{standard2}}$	= เวลาที่วัดได้ของสารมาตรฐาน (นาท)
t_{sample}	= เวลาที่วัดได้ของตัวอย่างน้ำมันเมล็ดตำโรง (นาท)

3.2.5 การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดไขมันด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี

การวิเคราะห์ด้วยการใช้เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟีนี้ นอกจากจะทำให้ทราบชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่มีอยู่ในน้ำมันตัวอย่างที่สนใจแล้ว ยังสามารถจะนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของน้ำมันได้ โดยขั้นตอนการปฏิบัติมีดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดไขมันด้วยแก๊สโครมาโตกราฟี

3.2.6 การศึกษาอิทธิพลต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน

การศึกษาอิทธิพลต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันโดยการเร่งปฏิกิริยาในไมโครเวฟ ทำการศึกษาในสามอิทธิพลด้วยกัน ได้แก่

- ตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH และ KOH ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0 0.50 1.0 1.5 และ 2.0
- อัตราส่วนโมลของเอทานอลและเมทานอลต่อน้ำมันที่ 3:1 6:1 9:1 12:1 และ 15:1
- ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาในไมโครเวฟ ตั้งแต่เวลา 10 ถึง 60 วินาที

3.2.6.1 การศึกษาอิทธิพลของตัวเร่งปฏิกิริยา และอัตราส่วนโมลของเอทานอลและเมทานอล

1. เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในเอทานอล (Absolute Ethanol) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0 0.50 1.0 1.5 และ 2.0 โดยมวลต่อปริมาตร
2. ปิเปตน้ำมันเมล็ดสำโรงใส่หลอดทดลองฟาส์เกลียวปริมาตร 5 มิลลิลิตร
3. ปิเปตสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในเอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 0 0.50 1.0 1.5 และ 2.0 โดยมวลต่อปริมาตร ใส่ในหลอดทดลองโดยอัตราส่วนโมลของเอทานอลและเมทานอลเป็น 3 6 9 12 และ 15 โมล ต่อน้ำมันเมล็ดสำโรง 1 โมล ตามลำดับ

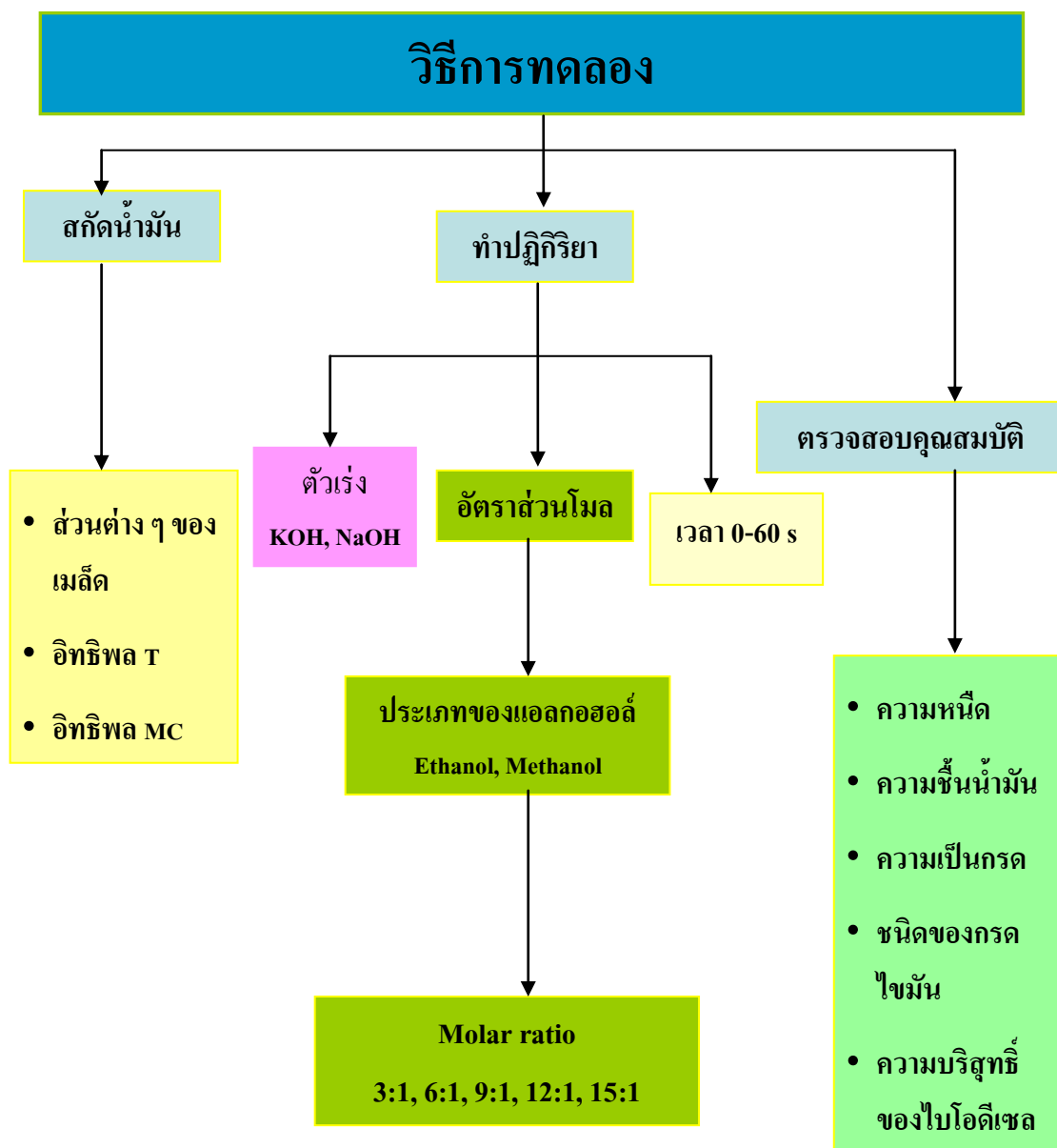
4. เขย่าสารตัวอย่างให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันด้วย Vortex Mixer จากนั้นทำปฏิกิริยาในตู้ไมโครเวฟเป็นเวลา 30 วินาที ทิ้งให้เย็นลงถึงอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส หยุดปฏิกิริยาด้วยการคละซติกเข้มข้น
5. คูดสารละลายชั้นบนทั้งหมด ใส่ใน Vial แล้วล้างด้วยน้ำกลั่น เดิม Na_2SO_4 เพื่อดูดน้ำออก โดยเดิมแล้วเขย่า ทิ้งไว้สักครู่ จนกระทั่งสารละลายใสจึงใช้ฟาสเจอร์รี่เปิดดูดสารละลายใส่ Vial
6. เตรียมสารตัวอย่างโดยละลายในตัวทำละลายเฮกเซน สำหรับฉีดวิเคราะห์ใน HPLC
7. ฉีดวิเคราะห์สารตัวอย่าง คำนวณร้อยละผลผลิต

3.2.6.2 การศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาในแหล่งกำเนิดรังสีไมโครเวฟ

1. ปิดน้ำมันเมล็ดสำโรงใส่ในหลอดทดลองฝาเกลียวปริมาณ 5 มิลลิลิตร
2. ปิดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในเอธานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 0 0.50 1.0 1.5 และ 2.0 โดยมวลต่อปริมาตร ใส่ในหลอดทดลองโดยอัตราส่วนโมลของเอธานอลและเมธานอลต่อน้ำมันเป็น 3 6 9 12 และ 15 โมล ต่อน้ำมันเมล็ดสำโรง 1 โมล ตามลำดับ
3. ปิดฝาเกลียวอย่าให้แน่นจนเกินไป เขย่าให้เข้ากัน นำไปทำปฏิกิริยาในตู้ไมโครเวฟ เป็นเวลา 10 วินาที
4. หยุดปฏิกิริยาด้วยการคละซติก ทิ้งไว้สักครู่ให้สารละลายแยกชั้น จากนั้นใช้ฟาสเจอร์รี่เปิดดูดชั้นเอสเทอร์ (ชั้นบน) ใส่ใน vial แล้วล้างด้วยน้ำกลั่น เดิม Na_2SO_4 เพื่อดูดน้ำออก โดยเดิมแล้วเขย่า ทิ้งไว้สักครู่ จนกระทั่งสารละลายใสจึงใช้ฟาสเจอร์รี่เปิดดูดสารละลายใส่ Vial
5. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้างต้นที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาในตู้ไมโครเวฟ 10 20 30 40 50 และ 60 วินาที
6. ฉีดวิเคราะห์สารตัวอย่าง คำนวณร้อยละผลผลิต

3.2.6.3 การผลิตไบโอดีเซลของน้ำมันเมล็ดสำโรงจากปฏิกิริยาทรานเอสทีลชันโดยใช้ตู้ไมโครเวฟ

1. ทำการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ความเข้มข้น อัตราส่วนโมล และระยะเวลาที่มีความเหมาะสมในการทำปฏิกิริยาในแหล่งกำเนิดรังสีไมโครเวฟ ซึ่งได้จากการศึกษาการเตรียมไบโอดีเซลในแต่ละอิทธิพลข้างต้น
2. ทดสอบคุณสมบัติทางเคมี กายภาพ และเชื้อเพลิง



รูปที่ 3.5 สรุปขั้นตอนการทำการดำเนินงานวิจัย

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

ต้นลำโรงเป็นพืชในสกุลลำโรง ซึ่งมีถิ่นกำเนิดในแถบเอเชียเขตร้อน โดยในประเทศไทยสามารถพบต้นลำโรงขึ้นกระจายอยู่ทุกภาคของประเทศ เมล็ดลำโรงที่ใช้ในงานวิจัยชิ้นนี้จะเก็บตัวอย่างมาจาก 3 จังหวัด คือ ราชบุรี เพชรบุรี และประจวบคีรีขันธ์ โดยน้ำมันที่สกัดได้จะสีเหลืองอ่อนดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ลักษณะสีของน้ำมันเมล็ดลำโรง

4.1 ผลการหาปริมาณน้ำมันในส่วนต่าง ๆ ของเมล็ดลำโรง

การหาปริมาณน้ำมันในส่วนต่าง ๆ ของเมล็ดลำโรง (Total Oil) มีวิธีและขั้นตอนการทดลองตามแผนผังในรูปที่ 3.1 โดยการคำนวณร้อยละของปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ตามสมการที่ (3.1) ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.1 ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดลำโรงรวมเปลือก เนื้อในเมล็ดลำโรง และเปลือกของเมล็ดลำโรง

Sample	ปริมาณน้ำมัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD
เมล็ดลำโรงรวมเปลือก	32.71	33.06	31.96	32.58	0.56
เนื้อในเมล็ดลำโรง	14.29	13.58	13.89	13.89	0.36
เปลือกเมล็ดลำโรง	0.03	0.03	0.03	0.03	-

จากตารางที่ 4.1 ที่แสดงปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากส่วนต่าง ๆ ของเมล็ดลำโรงพบว่า การสกัดเมล็ดลำโรงทั้งเมล็ดจะให้ปริมาณน้ำมันมากกว่าการสกัดเนื้อในเมล็ดลำโรงหรือเปลือกเมล็ดลำโรงเพียงอย่างเดียว โดยปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากการสกัดเมล็ดลำโรงทั้งเมล็ดมีประมาณร้อยละ 32.58 ของน้ำหนักเมล็ดลำโรงที่ใช้สกัด ซึ่งการศึกษาที่ผ่านมานั้นเนื้อในเมล็ดให้ปริมาณน้ำมันมากกว่าร้อยละ 50 แต่เนื่องด้วยการศึกษาที่ใช้เมล็ดแห้งซึ่งง่ายต่อการเก็บเกี่ยว และเก็บรักษามาเป็นกลุ่มตัวอย่างทำให้การแยกเปลือกและเนื้อในเมล็ดออกจากกันทำได้ยากมากขึ้น และต้องสูญเสียเนื้อในไปกับเปลือกมากขึ้น จึงเป็นผลให้ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้มีปริมาณลดลง เมื่อนำมาเทียบกับน้ำหนักเมล็ดทั้งหมด

4.2 ผลการศึกษาอิทธิพลต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้

สถานะเงื่อนไขที่สนใจในการทำการทดลอง คือ ความชื้น และอุณหภูมิในการอบ โดยการทดลองจะควบคุม ชนิดของตัวทำละลาย ปริมาณของตัวทำละลาย และระยะเวลาในการสกัด ซึ่งจากการทดลองจะแบ่งผลออกเป็น 2 ปัจจัย คือ อุณหภูมิในการอบเมล็ด 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส กับความชื้นสุดท้ายที่อบร้อยละ 7 และร้อยละ 5 ซึ่งการศึกษาเริ่มต้นที่การอบเมล็ดเพื่อหาความชื้นเริ่มต้น โดยค่าความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดลำโรงเหล่านั้นจะอยู่ระหว่างร้อยละ 7 ถึงร้อยละ 9 ของน้ำหนักมาตรฐานแห้ง แต่ความชื้นที่สนใจนำมาศึกษา คือ ร้อยละ 7 และ ร้อยละ 5 ของน้ำหนักมาตรฐานแห้ง จึงต้องอบเมล็ดเพื่อหาเวลาในการอบโดยประมาณ เพื่อให้ได้ความชื้นที่สนใจ

จากตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการอบกับร้อยละความชื้นในเมล็ดที่อุณหภูมิอุบ 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียสนั้น แสดงให้เห็นว่า เมล็ดลำโรงมีความชื้นสุดท้ายอยู่ประมาณร้อยละ 4 ของมาตรฐานน้ำหนักแห้ง และความชื้นของเมล็ดจะลดลงเรื่อย ๆ ตามเวลาที่เพิ่มขึ้นจนถึงความชื้นระดับหนึ่งความชื้นของเมล็ดจะไม่ลดลงอีก จากการวัดค่าความชื้นดังกล่าวที่แสดงในรูปที่ 4.2 จึงได้กำหนดค่าความชื้นที่ใช้ในการทำงานวิจัยชิ้นนี้คือ ความชื้นร้อยละ 7 และ 5 ของมาตรฐานน้ำหนักแห้ง เนื่องจากความชื้นเริ่มต้นของตัวอย่างเมล็ดที่เก็บมานั้นมีค่าตั้งแต่ร้อยละ 7 ของมาตรฐานน้ำหนักแห้งจนถึงร้อยละ 9 ของมาตรฐานน้ำหนักแห้ง และเมื่อทดสอบปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ที่ความชื้นร้อยละ 7 และ 9 ของมาตรฐานน้ำหนักแห้ง พบว่า ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากกลุ่มตัวอย่างที่มีความชื้นร้อยละ 7 ของมาตรฐานน้ำหนักแห้งนั้นให้ปริมาณน้ำมันมากกว่ากลุ่มตัวอย่างที่มีความชื้นร้อยละ 9 เนื่องจากถ้าเมล็ดของพืชน้ำมันที่นำมาสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์นั้นมีปริมาณความชื้นมากเกินไปความชื้นในเมล็ดนั้นจะเป็นอุปสรรคต่อตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้ในการสกัดน้ำมันออกจากเนื้อเมล็ดลำโรง และเพื่อป้องกันข้อผิดพลาดในเรื่องของกลุ่มตัวอย่างที่มีความชื้นไม่เท่ากันจึงกำหนดให้ค่าความชื้นที่จะใช้ในการทำงานวิจัยชิ้นนี้เป็นตัวแปรควบคุมโดยศึกษาเปรียบเทียบกับกลุ่มตัวอย่างที่มีความชื้นร้อยละ 7 และ 5 ตามลำดับ โดยกรณีของความชื้นร้อยละ 7 ของมาตรฐานน้ำหนักแห้งเวลาใน

การอบเมล็ดทำให้เหลือความชื้นดังกล่าวจะอยู่ในช่วงประมาณ 30 ถึง 190 นาที่ ส่วนที่ความชื้นร้อยละ 5 ของมาตรฐานน้ำหนักแห้ง นั้นในแต่ละอุณหภูมิจะใช้เวลานานมากขึ้น และช่วงของอุณหภูมิจะกว้างมาก โดยอยู่ในช่วงประมาณ 190 ถึง 2230 นาที่ ซึ่งอาจจะเนื่องมาจากความชื้นร้อยละ 5 ของมาตรฐานน้ำหนักแห้งนั้นใกล้เคียงกับความชื้นสุดท้ายของเมล็ดลำโรงมาก จึงทำให้เวลาในการอบนานมากขึ้น แต่เวลาในการอบจะสั้นหรือยาวนานนั้นนอกจากจะขึ้นอยู่กับความชื้นเริ่มต้นของเมล็ด และอุณหภูมิที่ใช้อบ ยังขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ โดยถ้าความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดสูงก็จะใช้เวลาในการอบนานมากขึ้น แต่ในเรื่องของอุณหภูมิในการอบจะกลับกันโดยเมื่ออุณหภูมิในการอบเพิ่มมากขึ้นเวลาที่ใช้อบก็จะสั้นลง ซึ่งการศึกษาในที่นี้จะใช้อุณหภูมิในการอบ 4 ค่า คือ 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส และผลปรากฏว่าอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสใช้เวลาในการอบสั้นที่สุด

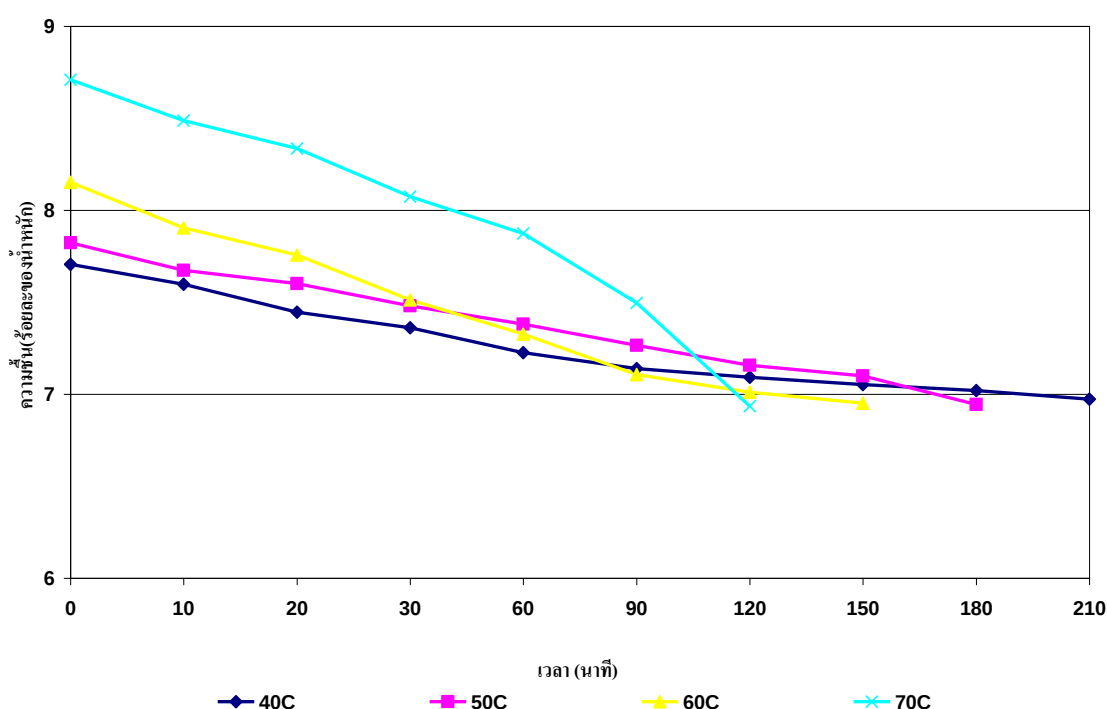
จากสภาวะเงื่อนไขที่กำหนดให้ใช้อุณหภูมิในการทดลองเพื่ออบเมล็ดจำนวน 4 อุณหภูมิ คือ 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นเวลาในการอบเมล็ดจะลดลง และปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิในการอบจนถึง 60 องศาเซลเซียส แต่ลดลงที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส อาจเนื่องมาจากสารบางตัวที่อยู่ในเมล็ดลำโรงนั้นมีจุดเดือดใกล้เคียงกับอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสที่ใช้ออบเมล็ดจึงทำสารดังกล่าวระเหยออกไปในขั้นตอนนี้ด้วยจึงทำให้ปริมาณน้ำมันลดลง โดยผลดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการเปรียบเทียบอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดลำโรงและเวลาในการอบ

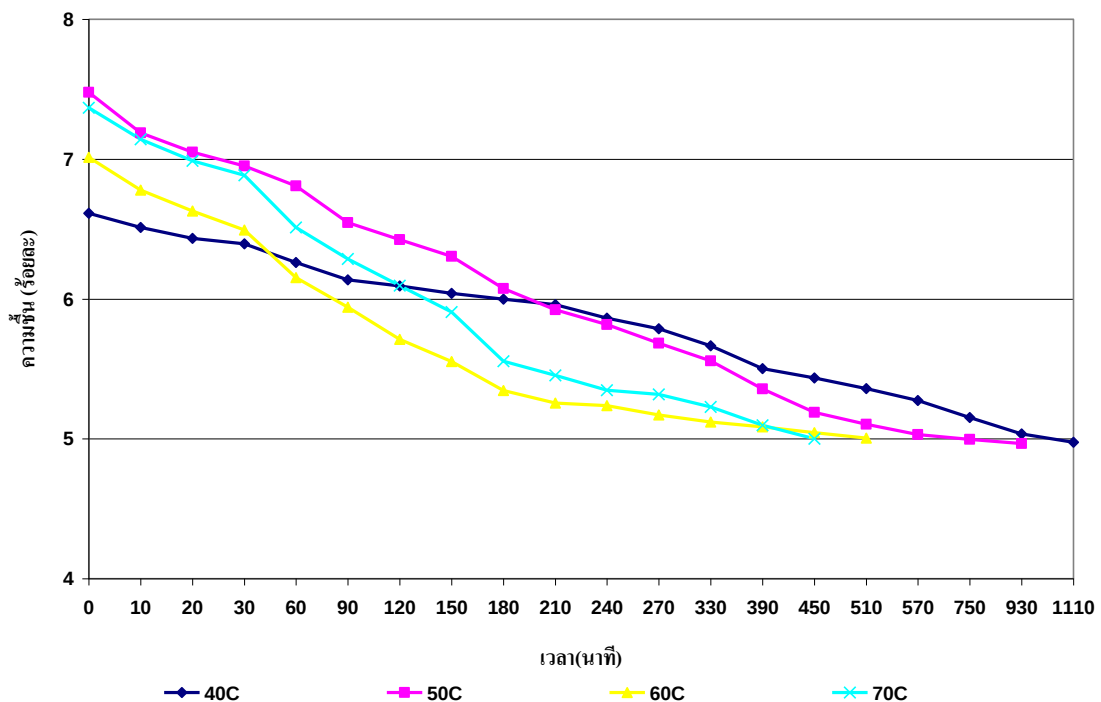
อุณหภูมิในการอบ (°C)	ความชื้นร้อยละ 7		ความชื้นร้อยละ 5	
	เวลาในการอบ (นาที่)	ปริมาณน้ำมัน (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)	เวลาในการอบ (นาที่)	ปริมาณน้ำมัน (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)
40	190	30.66	1190	32.00
50	140	31.80	423	33.58
60	123	31.46	350	34.53
70	110	33.36	310	32.13

จากตารางที่ 4.2 แสดงผลการเปรียบเทียบอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดลำโรงและเวลาในการอบ สามารถนำมาสร้างเป็นกราฟเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันได้ดังรูปที่ 4.7 โดยอบเมล็ดลำโรงที่อุณหภูมิ 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ปรากฏว่า ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความชื้นสุดท้ายร้อยละ 5 ของมาตรฐานน้ำหนักแห้ง สามารถสกัดน้ำมันได้ปริมาณมากที่สุดโดยสกัด

ได้ประมาณร้อยละ 34.53 โดยน้ำหนัก และที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความชื้นสุดท้ายร้อยละ 7 ของมาตรฐานน้ำหนักแห้งนั้นให้น้ำมันน้อยที่สุดโดยสกัดได้ประมาณร้อยละ 30.66 โดยน้ำหนัก และเมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 4.2 ซึ่งข้อมูลที่แสดงค่าเฉลี่ยจากการทำการทดลอง 3 ครั้ง พบว่า เมื่ออุณหภูมิในการอบเมล็ดเพิ่มมากขึ้นจะทำให้เวลาในการอบเมล็ดให้ได้รับความชื้นตามที่กำหนดนั้นสั้นลง ดังรูปที่ 4.2 และ 4.3 ซึ่งแสดงผลการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละความชื้นกับเวลาในการอบที่ความชื้นสุดท้ายร้อยละ 7 และร้อยละ 5 ของมาตรฐานน้ำหนักแห้ง ปรากฏว่า ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสนั้นใช้เวลาในการอบเมล็ดให้ความชื้นลดลงสู่ความชื้นสุดท้ายที่ต้องการน้อยที่สุด โดยใช้เวลาในการอบประมาณ 110 นาที และ 310 นาที ที่ความชื้นสุดท้ายร้อยละ 7 และร้อยละ 5 ตามลำดับ



รูปที่ 4.2 ผลการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละความชื้นในเมล็ดสำโรงกับเวลาการอบที่ความชื้นร้อยละ 7 มาตรฐานน้ำหนักแห้งที่อุณหภูมิในการอบ 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส

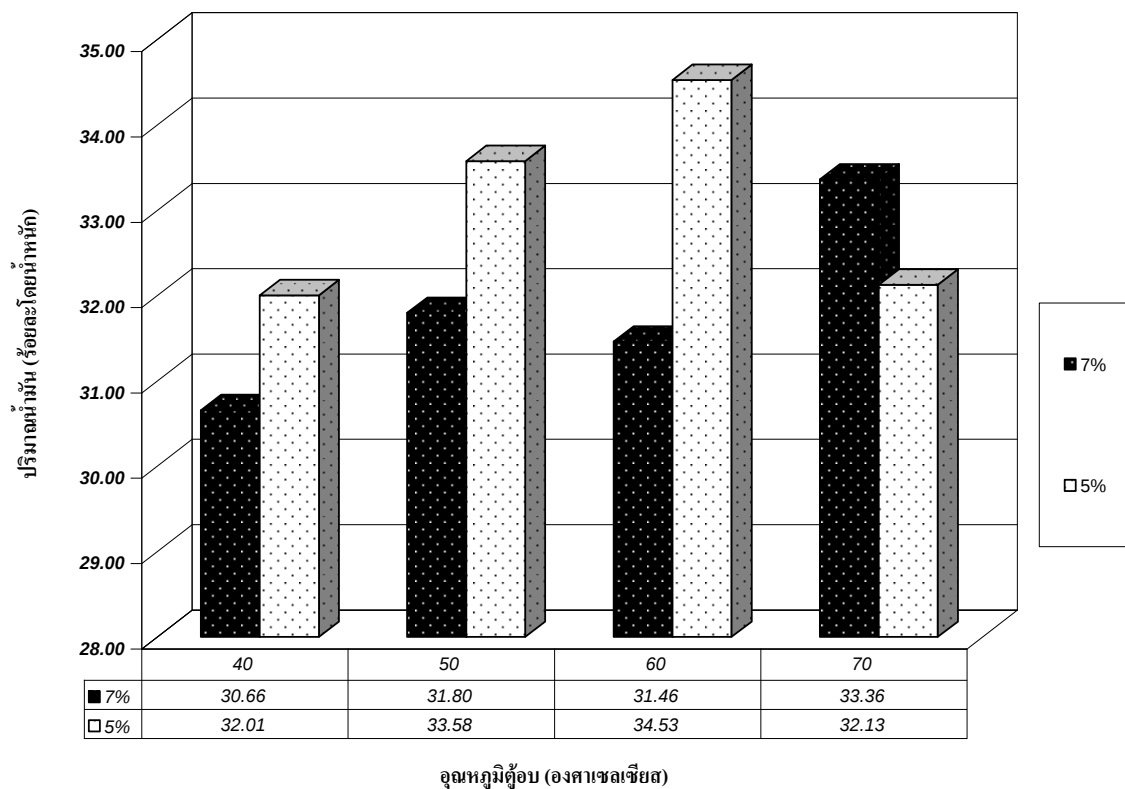


รูปที่ 4.3 ผลการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละความชื้นในเมล็ดสำโรงกับเวลาการอบที่ความชื้นร้อยละ 5 ของมาตรฐานน้ำหนักแห้งที่อุณหภูมิในการอบ 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส

จากการศึกษาอิทธิพลของเวลาในการอบ อุณหภูมิในการอบ และความชื้นในเมล็ด ว่ามีผลต่อปริมาณการสกัดน้ำมันออกจากเมล็ดสำโรงอย่างไรนั้น การศึกษาพบว่า เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการอบเพิ่มสูงขึ้นใกล้เคียงกับจุดเดือดของน้ำมากเท่าไรเวลาในการอบจะสั้นลงเรื่อย ๆ เนื่องจากน้ำและสารอื่น ๆ ที่มีอุณหภูมิในช่วงดังกล่าวสามารถระเหยออกจากเมล็ดได้ง่ายขึ้น จึงส่งผลให้ความชื้นลดลงอย่างรวดเร็ว และปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ก็เพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจนถึงจุด ๆ หนึ่ง และจะเริ่มลดลง ซึ่งอาจเป็นผลสืบเนื่องมาจากช่วงอุณหภูมิดังกล่าวสูงเกินไปสำหรับจุดเดือดของสารบางตัวที่มีผลต่อการสกัดน้ำมันในเมล็ดสำโรงจึงเป็นอุปสรรคต่อการสกัดน้ำมันในขั้นตอนต่อมา

4.3 ผลการวิเคราะห์อิทธิพลของความชื้นสุดท้ายในเมล็ดที่มีต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้

การทดลองจะกำหนดค่าความชื้นสุดท้ายในเมล็ดที่ร้อยละ 7 และร้อยละ 5 ของความชื้นมาตรฐานแห้งโดยอบที่อุณหภูมิ 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่า เมล็ดที่มีความชื้นร้อยละ 5 ของมาตรฐานน้ำหนักแห้ง ให้ปริมาณน้ำมันมากกว่าเมล็ดที่มีความชื้นร้อยละ 7 ของมาตรฐานน้ำหนักแห้ง



รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดสำโรงที่มีความชื้นในเมล็ดร้อยละ 7 และ ร้อยละ 5 ของมาตรฐานน้ำหนักแห้ง โดยใช้อุณหภูมิในการอบเมล็ดที่ 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.4 ซึ่งเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันเฉลี่ยที่สกัดได้จากเมล็ดสำโรงที่มีความชื้นสุดท้ายเท่ากับ ร้อยละ 7 และ 5 ของมาตรฐานน้ำหนักแห้ง โดยมีอุณหภูมิในการอบในการอบต่างกัน 4 ช่วงอุณหภูมิ คือ 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิในการอบ 60 องศาเซลเซียส จะให้ปริมาณน้ำมัน มากที่สุด แต่ถ้าเปรียบเทียบได้เปรียบเทียบในการประหยัพลังงานนั้นจะพบว่าอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จะ สิ้นเปลืองพลังงานต่อหน่วยน้ำมันที่สกัดได้น้อยที่สุด โดยเมื่อสังเกตแยกแต่ละช่วงอุณหภูมินั้นทำให้ ทราบว่าการสกัดน้ำมันเพียงครั้งเดียวนั้นไม่สามารถสกัดน้ำมันออกจากเมล็ดกลุ่มตัวอย่างได้หมด จึง ต้องทำการสกัดน้ำมันจากตัวอย่างเดิมซ้ำเพื่อให้แน่ใจว่าปริมาณน้ำมันที่ได้นั้นใกล้เคียงกับปริมาณ น้ำมันที่มีอยู่ในเมล็ดมากที่สุด โดยปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดจะลดลงเรื่อยตามจำนวนครั้งใน การสกัดที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง

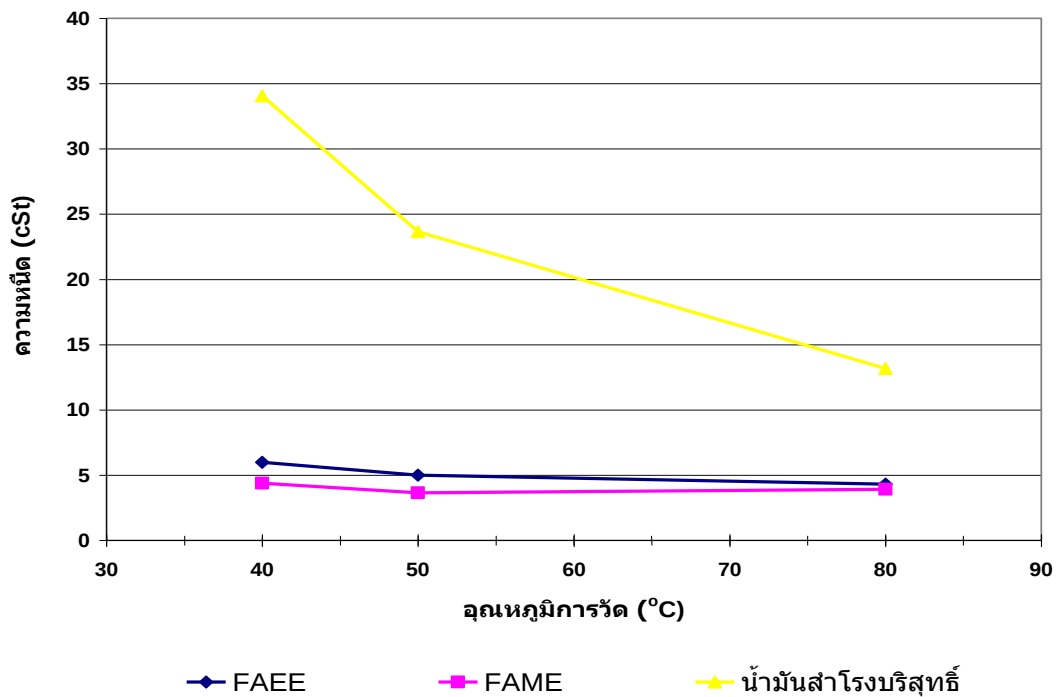
4.4 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนืดของน้ำมันเมล็ดสำโรง

จากการทดสอบค่าความหนืดของน้ำมันเมล็ดสำโรงที่สกัดได้ที่อุณหภูมิเซลเซียส ปรากฏผลดังตารางที่ 4.4 แสดงค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสของน้ำมันเมล็ดสำโรงเปรียบเทียบกับน้ำมันยางพารา น้ำมัน สบู่ดำ น้ำมันเมล็ดทานตะวัน น้ำมันเมล็ดเรพ น้ำมันปาล์ม และมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน พบว่า ค่าความหนืดของน้ำมันเมล็ดสำโรงนั้นมีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำ และปาล์ม แต่มีค่ายังสูงมากเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานความหนืดของน้ำมันดีเซลดังแสดงในตารางที่ 4.4 โดยค่าความหนืดของน้ำมันเมล็ดสำโรงที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการทรานเอสเทอร์ฟิเคชันนั้นเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าความหนืดของน้ำมันชนิดต่าง ๆ ที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการทรานเอสเทอร์ฟิเคชันเช่นกัน พบว่า ค่าความหนืดของน้ำมันเมล็ดสำโรงนั้นต่ำกว่าค่าความหนืดของน้ำมันจากพืชชนิดต่าง ๆ อยู่หลายชนิด โดยที่สำคัญคือ ต่ำกว่าค่าความหนืดของน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำ และน้ำมันปาล์ม จึงน่าจะนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซลเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนได้เช่นกัน

ตารางที่ 4.3 ค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสของน้ำมันเมล็ดสำโรงเปรียบเทียบกับน้ำมันยางพารา น้ำมัน สบู่ดำ น้ำมันเมล็ดทานตะวัน น้ำมันเมล็ดเรพ น้ำมันปาล์ม และมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน [36]

ชนิดของน้ำมัน	ค่าความหนืด (cSt)
เมล็ดสำโรง	34.60
ยางพารา	30.30
สบู่ดำ	52.00
เมล็ดทานตะวัน	58.00
เมล็ดเรพ	39.50
ปาล์ม	38.00
ดีเซล	3.38

ถ้าน้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดสำโรงมาผ่านกระบวนการทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน แล้วนำไปโอดีเซลที่ได้มาวัดค่าความหนืด ณ ช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ โดยเปรียบเทียบระหว่างน้ำมันเมล็ดสำโรงที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน และไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสำโรงที่ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ต่างชนิดกันนั้นได้ผลดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบค่าความหนืดของน้ำมันเมล็ดสำโรงบริสุทธิ์กับเมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์ที่อุณหภูมิ 40 50 และ 80 องศาเซลเซียส

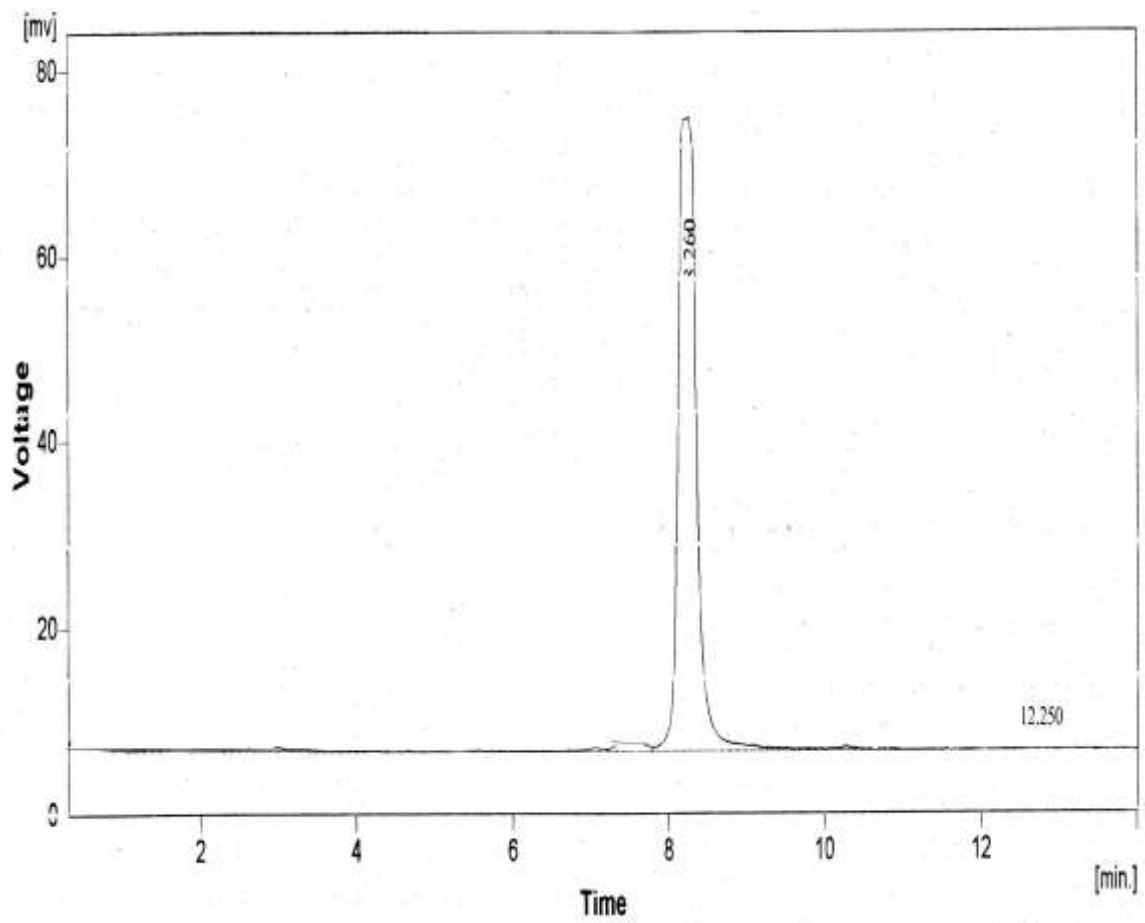
จากรูปที่ 4.5 ซึ่งแสดงค่าความหนืดของน้ำมันเมล็ดสำโรงที่ยังไม่ผ่านกระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชัน เปรียบเทียบกับเมทิลเอสเทอร์ และเอทิลเอสเทอร์ที่อุณหภูมิ 40 50 และ 80 องศาเซลเซียส พบว่า เมทิลเอสเทอร์ เอทิลเอสเทอร์ และน้ำมันสำโรงบริสุทธิ์มีค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เท่ากับ 4.39 5.99 และ 34.60 cSt ตามลำดับ โดยน้ำมันเมล็ดสำโรงบริสุทธิ์เมื่อนำมาผ่าน กระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชันมีผลทำให้ค่าความหนืดของน้ำมันตัวอย่างลดลง และค่าความหนืด ของเมทิลเอสเทอร์นั้นมีค่าต่ำกว่าเอทิลเอสเทอร์ เป็นผลสืบเนื่องมาจากเมทิลเอสเทอร์มีความยาวของ สายโซ่คาร์บอนสั้นกว่าเอทิลเอสเทอร์ ซึ่งผลกระทบของความยาวสายโซ่คาร์บอนดังกล่าวนี้ Gerhard [45] ได้กล่าวว่า ค่าความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลจะเพิ่มขึ้นตามความยาวของสายโซ่คาร์บอนและจำนวน ของกรดไขมัน แต่ถ้าโครงสร้างมีพันธะคู่อยู่ด้วยจะทำให้ค่าความหนืดลดลง

4.5 ผลการวิเคราะห์ร้อยละผลผลิตและการหาค่าเวลาคงค้าง

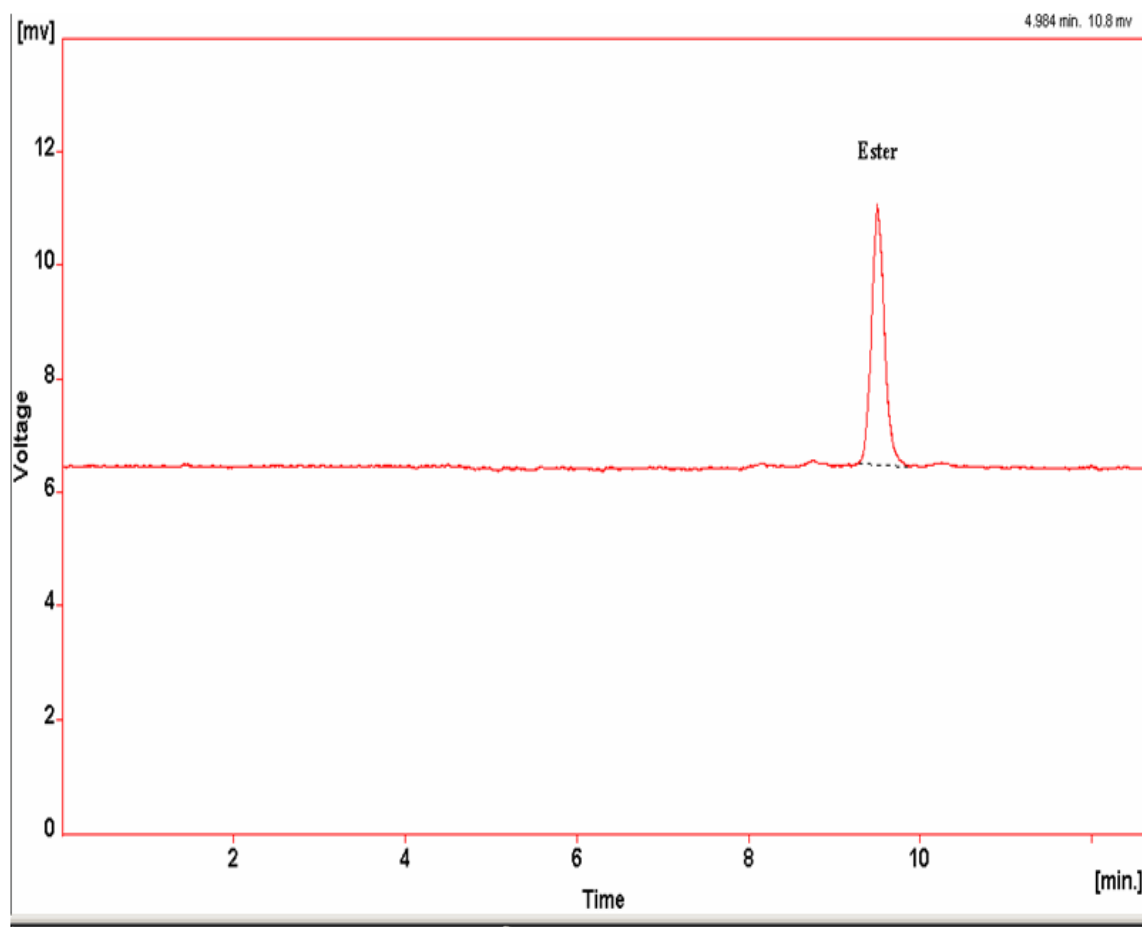
การวิเคราะห์หาร้อยละองค์ประกอบของน้ำมันเมล็ดสำโรงและปริมาณเอซิลเอสเทอร์ด้วย High Performance Liquid Chromatography ต้องทำการวิเคราะห์เวลาคงค้าง (Retention Time) ของกรดไขมันอิสระ กรดไขมันเอซิลเอสเทอร์และไตรกลีเซอไรด์ บนเครื่อง HPLC อุปกรณ์ (เสริม) ที่ใช้

- Rheodyne 7125 six-port injector (Cotati, CA) with a 20 μ l.
- Sample loop HPLC
- เครื่องตรวจวัดชนิด ELSD
- คอลัมน์ Phenogel 5 μ 100A NO.OOH-0442-kO

การวิเคราะห์ด้วยสภาวะอุณหภูมิปกติ ตัวชะ (Elution, Mobile Phase) ที่มีความเหมาะสมนั้นคือร้อยละ 0.25 ของกรดอะซิติกในโทลูอิน ที่อัตราการไหลของเฟสเคลื่อนที่ 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที ทำการฉีดวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำมันเมล็ดสำโรงที่สกัดได้ในแต่ละครั้งเพื่อหาร้อยละองค์ประกอบในน้ำมันเมล็ดสำโรง ซึ่งได้รูปกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.6 ให้นำค่าที่ได้จากกราฟมาคำนวณหาค่าร้อยละองค์ประกอบและระยะเวลาคง ซึ่งก่อนที่จะทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ิฟิเคชัน จะเห็นว่าน้ำมันเมล็ดสำโรงมีส่วนประกอบของไตรกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์ร้อยละ 94.92 และร้อยละ 4.27 ตามลำดับ โดยน้ำมันเมล็ดสำโรงไม่มีส่วนประกอบของกรดไขมันอิสระจึงเป็นผลดีต่อการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ิฟิเคชัน เนื่องจากน้ำมันชนิดใดมีปริมาณกรดไขมันอิสระมากกว่าร้อยละ 2 จะต้องทำปฏิกิริยาคู่กรดหรือทำปฏิกิริยาคู่กรดก่อน เพื่อลดปริมาณของกรดไขมันอิสระนั้น ซึ่งจะทำเวลาในการทำปฏิกิริยานั้นเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 4.6 โครมาโตแกรมแสดงองค์ประกอบในน้ำมันเมล็ดตำโรงที่ได้จากเครื่อง HPLC คอลัมน์ชนิด Phenogel ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 7.8 มิลลิเมตร ความยาว 300 มิลลิเมตร ขนาดอนุภาคบรรจุ 5 ไมครอน ความพรุน (Porosity) 100 อังตรอม โดยใช้เครื่องตรวจวัดชนิด ELSD ค่าเวลาคงค้างของน้ำมันให้พืชที่ 8.260 และ 12.250



รูปที่ 4.7 โครมาโตแกรมของเอสเทอร์ที่เตรียมจากน้ำมันเมล็ดตำโรงบริสุทธ์ที่ได้จากเครื่อง HPLC คอลัมน์ชนิด Phenogel ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 7.8 มิลลิเมตร ความยาว 300 มิลลิเมตร ขนาดอนุภาคบรรจุ 5 ไมครอน ความพรุน (Porosity) 100 อังตรอม โดยใช้เครื่องตรวจวัดชนิด ELSD ค่าเวลาคงค้างของกรดไขมันเอซิลเอสเทอร์ที่ 9.502

จากโครมาโตแกรมในรูปที่ 4.7 เมื่อนำค่ามาคำนวณหาค่าร้อยละองค์ประกอบและระยะเวลาคงค้างพบว่า น้ำมันเมล็ดตำโรงสามารถทำปฏิกิริยาให้ปริมาณของเอสเทอร์สูงถึงร้อยละ 98.02 ซึ่งค่าดังกล่าวสูงกว่าค่ามาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงานที่กำหนดไว้ประมาณร้อยละ 96.5 และเมื่อนำค่าร้อยละองค์ประกอบและระยะเวลาคงค้างที่คำนวณได้มาเปรียบเทียบกับน้ำมันชนิดอื่น ๆ และค่ามาตรฐานซึ่งผลปรากฏดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ค่าร้อยละองค์ประกอบของเอซิลเอสเทอร์น้ำมันจากเมล็ดสำโรง
เปรียบเทียบกับน้ำมันชนิดอื่น ๆ

Component	ชนิดของน้ำมัน			
	มาตรฐาน	ปาล์ม	สบู่ดำ	สำโรง
Triglyceride	< 0.2	0.244	0.40	0
Diglyceride	< 0.2	0.494	0.266	0
Monoglyceride	< 0.8	0.179	0.366	0
Free fatty acid	na	na	na	0.67
FAEEs	> 96.50	99.20	98.90	98.02

จากตารางที่ 4.4 ซึ่งแสดงค่าร้อยละองค์ประกอบของเอซิลเอสเทอร์น้ำมันจากเมล็ดสำโรงเปรียบเทียบกับน้ำมันชนิดอื่น ๆ จะเห็นว่าน้ำมันเมล็ดสำโรงนั้นเมื่อนำมาทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชันแล้วจะให้ปริมาณร้อยละของผลผลิตใกล้เคียงกับน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำและปาล์ม โดยปริมาณร้อยละของผลผลิตน้ำมันปาล์ม สบู่ดำ และสำโรงนั้นมีค่า 99.20 98.90 และ 98.20 ตามลำดับ

4.6 ผลการศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มี อิทธิพลต่อปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชัน

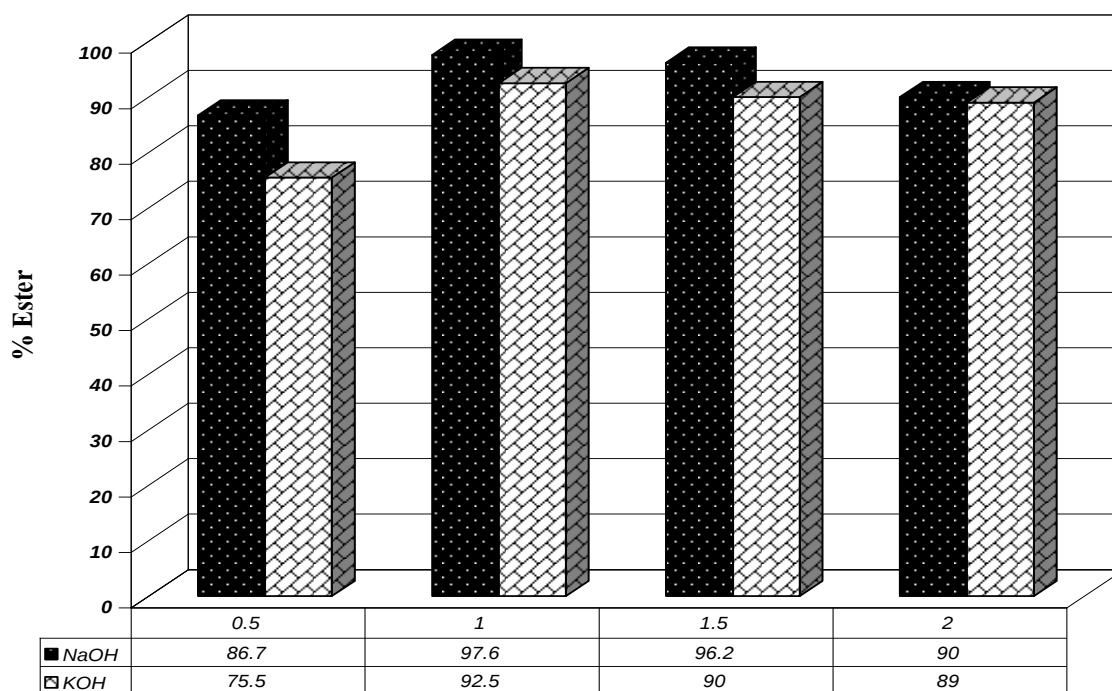
การศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชันโดยการเร่งปฏิกิริยาในไมโครเวฟ ทำการศึกษาในสามอิทธิพลด้วยกัน ได้แก่

- ตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH KOH ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0 0.50 1.0 1.50 และ 2.0
- อัตราส่วน โมลของเอทานอลและเมทานอลต่อน้ำมันที่ 3:1 6:1 9:1 12:1 และ 15:1
- ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาในไมโครเวฟ ตั้งแต่เวลา 30 40 50 และ 60 วินาที

4.6.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของตัวเร่งปฏิกิริยา และอัตราส่วนโมลของเอทานอลและเมทานอล

การศึกษาร้อยละผลผลิตของเอสเทอร์ที่ได้จากปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชันในไมโครเวฟ จากการทดสอบด้วยซินเลเซอร์โครมาโตกราฟี (TLC) พบว่า น้ำมันเมล็ดสำโรงเมื่อเก็บไว้จะเกิดกรดไขมันอิสระขึ้น เนื่องจากการทดสอบน้ำมันที่สกัดจากเมล็ดสดและน้ำมันที่เก็บไว้เป็นเวลา 1 2 และ 3 เดือนตามลำดับ จะปรากฏแถบของกรดไขมันอิสระขึ้น และที่ระยะเวลาการทำปฏิกิริยาเดียวกัน (30 นาที) อัตราส่วนต่อโมลของเอทานอลและเมทานอลต่อน้ำมัน 12:1 และ 15:1 นั้นเกิดปฏิกิริยาได้ดีที่สุด ซึ่งแสดงโครมาโตแกรมของเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดสำโรงที่ทำปฏิกิริยากับ KOH และ NaOH เข้มข้นร้อยละ 1 และ 2 แสดงให้เห็นว่าปริมาณการเกิดเอสเทอร์ในทั้งสองกรณีคือ KOH และ NaOH นั้น

ใกล้เคียงกัน โดยสามารถทำปฏิกิริยาได้ดีที่อัตราส่วนโมลของน้ำมันต่อแอลกอฮอล์ 12:1 และ 15:1 แต่การทดสอบด้วยวิธี TLC นี้ไม่สามารถบ่งบอกได้ชัดเจนว่าที่อัตราส่วนใดให้ปริมาณของเอสเทอร์มากกว่ากัน เช่นเดียวกับในกรณีของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งตามงานวิจัยทั่วไปกล่าวว่าที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 จะให้เอสเทอร์มากกว่าอัตราส่วนโมลอื่น ๆ จากจุดนี้จึงถือเป็นข้อบกพร่องของการตรวจสอบในวิธี TLC จึงต้องใช้การตรวจสอบด้วยเครื่อง HPLC อีกครั้ง ซึ่งผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.17



ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา

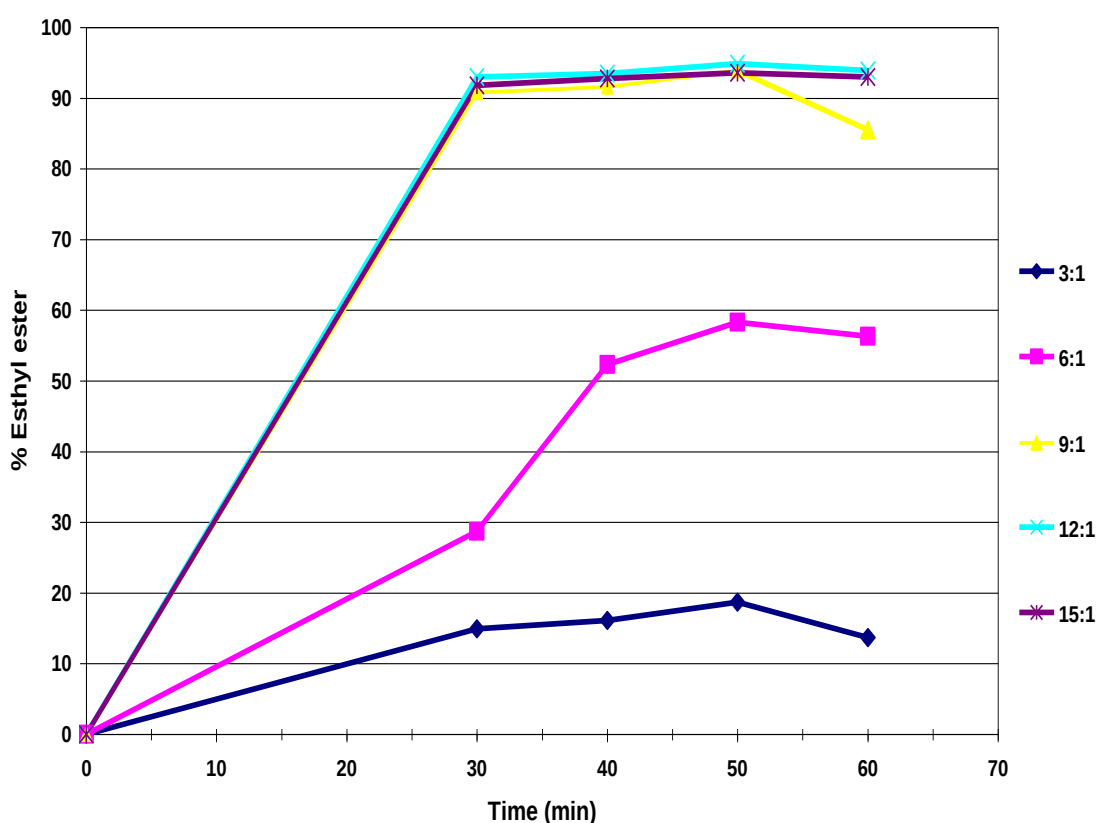
รูปที่ 4.8 ปริมาณของเอซิลเอสเทอร์ของน้ำมันเมล็ดสำโรงที่ใช้ KOH เปรียบเทียบกับ NaOH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 1.0 1.5 และ 2 ในเอทานอล จากวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

จากรูปที่ 4.8 ซึ่งแสดงปริมาณของเอซิลเอสเทอร์ของน้ำมันเมล็ดสำโรงที่ใช้ KOH เปรียบเทียบกับ NaOH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 1.0 1.5 และ 2 ในเอทานอล จากวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC พบว่า NaOH นั้นให้ปริมาณเอซิลเอสเทอร์สูงกว่า KOH เนื่องจาก NaOH 2% NaOH เกลือของโครงสร้างมากกว่า KOH จึงสามารถแตกตัวทำปฏิกิริยาได้ดีกว่า และถ้าเมื่อความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาแล้วปริมาณของเอซิลเอสเทอร์ที่ได้จะเพิ่มนั้นจะขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงร้อยละ 1 แล้วจึงค่อย ๆ ลดลงตามลำดับ ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวเป็นผลสืบเนื่องมาจากตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสซึ่งสามารถรวมตัวกับสายโซ่คาร์บอน แล้วเกิดเป็นกลีเซอรินได้ง่าย โดยถ้าปริมาณความเข้มข้นของเบสมากเกินไปก็จะทำให้ปฏิกิริยาดังกล่าวเกิดได้มากขึ้น และได้กลีเซอรอลมากขึ้น จึงส่งผลให้

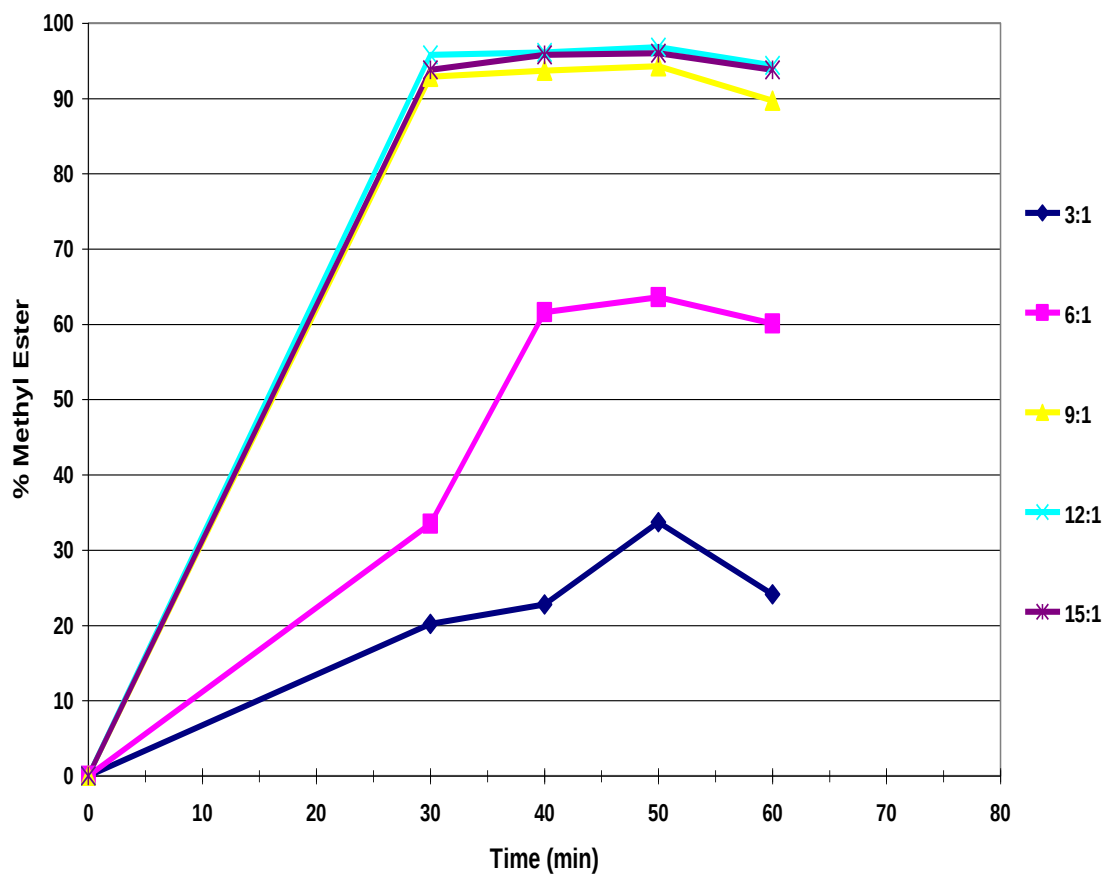
ผลิตภัณฑ์ที่ได้ลดน้อยลง โดยความเข้มข้นของ NaOH ที่ให้ปริมาณของเอซิลเอสเทอร์มากที่สุดคือ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

4.6.2 การศึกษาอิทธิพลของชนิดและอัตราส่วนโมลของแอลกอฮอล์ และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาในไมโครเวฟที่มีต่อปริมาณของเอสเทอร์

การศึกษาอิทธิพลของชนิดและอัตราส่วนโมลของแอลกอฮอล์จากการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันในไมโครเวฟ โดยใช้แอลกอฮอล์ 2 ชนิด คือ เมธานอล และเอทานอล ในอัตราส่วน 3:1 6:1 9:1 12:1 และ 15:1 แล้วทดสอบผลผลิตที่ได้ด้วยเครื่อง HPLC พบว่า เมธานอลให้เอสเทอร์มากกว่าเอทานอลในทุก ๆ อัตราส่วนโมลต่อปริมาตร เนื่องจากเมธานอลมีความยาวของสายโซ่คาร์บอนน้อยกว่าจึงแตกตัวทำปฏิกิริยาได้ดีกว่าเอทานอล ส่งผลให้ปฏิกิริยาที่ดำเนินไปเกิดได้ดี และให้ผลผลิตที่ดีกว่าประกอบกับเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเบสที่มีผลเสียตรงที่เบสจะเกิดการทำปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอนแล้วได้เป็นกลีเซอรอลได้ง่ายกว่า ซึ่งในเอทานอลมีจำนวนหมู่คาร์บอนมากกว่าจึงทำให้เกิดผลผลิตได้น้อยลง โดยผลการทดลองเปรียบเทียบปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ปริมาณของเอซิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดสำโรงที่อัตราส่วน โมลแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันที่ 3:1 6:1 9:1 12:1 และ 15:1 ที่เวลาคงค้างในไมโครเวฟ 0 ถึง 60 วินาที จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC



รูปที่ 4.10 ปริมาณของเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดตำโรงที่อัตราส่วน โมลแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันที่ 3:1 6:1 9:1 12:1 และ 15:1 ที่เวลาคงค้างในไมโครเวฟ 0 ถึง 60 วินาที จากการวิเคราะห์ด้วย เครื่อง HPLC

จากรูปที่ 4.9 และ 4.10 ปริมาณของเอทิลเอสเทอร์และเมทิลเอสเทอร์ จากน้ำมันเมล็ดตำโรง ตามลำดับ ที่ อัตราส่วนโมลแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันที่ 3:1 6:1 9:1 12:1 และ 15:1 ที่เวลาคงค้างในไมโครเวฟ 0 ถึง 60 วินาที จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC พบว่า ปริมาณของเอสเทอร์ที่ได้จะเพิ่มขึ้นจนถึงเวลา 50 วินาที และจะลดลงเมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้น โดยที่อัตราส่วนโมล 12:1 ให้ปริมาณของเอสเทอร์มากที่สุดในทุก ๆ กรณี

4.7 ผลการศึกษากระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดตำโรง

ทำการทดลองผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดตำโรงตัวอย่างปริมาตร 100 มิลลิลิตร โดย น้ำมันเมล็ดตำโรงมีส่วนประกอบของไตรกลีเซอไรด์ร้อยละ 94.92 และ โมโนกลีเซอไรด์ร้อยละ 4.27

4.7.1 เงื่อนไขสถานะของการผลิต

การทำปฏิกิริยาให้ใช้น้ำมันตัวอย่างที่สกัดจาก เมล็ดสำโรงที่ผ่านการอบเพื่อหาปริมาณความชื้นในเมล็ด และศึกษาเงื่อนไขของความชื้นในเมล็ดที่สามารถให้ปริมาณน้ำมันมากที่สุด เมื่อเทียบกับพลังงานที่ใช้ไป ซึ่งเงื่อนไขที่ได้คือ อบเมล็ดที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ให้เหลือความชื้นในเมล็ดร้อยละ 7 ของมาตรฐานแห้ง

1. ใช้เมธานอลเป็นแอลกอฮอล์ในการทำปฏิกิริยาที่อัตราส่วนโมล 12:1
2. ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยมวลต่อปริมาตรของเมธานอล
3. ใช้ไมโครเวฟเป็นแหล่งพลังงานในการกระตุ้นปฏิกิริยาโดยใช้เวลาทำปฏิกิริยานาน 50 วินาที

4.7.2 กระบวนการผลิต

จากเงื่อนไขที่กล่าวมาข้างต้น การทดลองนี้จะใช้รังสีไมโครเวฟเป็นแหล่งพลังงานให้การกระตุ้นการเกิดของปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. อุ่นน้ำมันเมล็ดสำโรงในอ่างควบคุมอุณหภูมิ ให้มีอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส
2. ผสมเมธานอลที่มีโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 1 ผสมอยู่ ในอัตราส่วนโมลแอลกอฮอล์ต่อ น้ำมัน 12:1 เข้ากับน้ำมันเมล็ดสำโรง จากนั้นกวนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน
3. ทำปฏิกิริยาต่อในไมโครเวฟนาน 50 วินาที
4. หยุดปฏิกิริยาด้วยกรดอะซิติก เทลงกรวยแยกสาร จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้น
5. ล้างชั้นเมธิลเอสเทอร์ (ชั้นบน) ด้วยน้ำอุ่นประมาณ 5 ครั้งหรือจนกระทั่งเมธิลเอสเทอร์มีสภาพเป็นกลาง (pH = 7) ในกรวยแยกสาร
6. เติมโซเดียมซัลเฟต เพื่อดึงน้ำที่ยังค้างอยู่ในเมธิลเอสเทอร์ตัวอย่าง แล้ววิเคราะห์ร้อยละผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นด้วยเครื่อง HPLC

4.7.3 ผลการทดลอง

จากผลการวิเคราะห์ร้อยละผลิตภัณฑ์จากเครื่อง HPLC พบว่า ตัวอย่างน้ำมันเมล็ดสำโรงที่นำมาทำปฏิกิริยานั้นเกิดเป็นสารเมธิลเอสเทอร์ได้ไม่สมบูรณ์ แต่ปริมาณเมธิลเอสเทอร์ที่ได้นั้นสูงกว่ามาตรฐานที่กรมธุรกิจพลังงานกำหนดไว้ โดยปริมาณเมธิลเอสเทอร์ที่ได้เท่ากับร้อยละ 98.83 ซึ่งลักษณะทางกายภาพของไบโอดีเซลเมธิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดสำโรงที่ได้ มีลักษณะเป็นสีเหลืองแต่ไม่ใส แต่หลังจากเติมโซเดียมซัลเฟตเพื่อดึงน้ำออกจากตัวอย่างแล้ว เมธิลเอสเทอร์ที่ได้กลับมีสีเหลืองใส เมื่อวัดค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส พบว่าเมธิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดสำโรงมีค่าความหนืด 4.39 cSt ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่กรมธุรกิจพลังงานกำหนดไว้ที่ 3.50 - 5.00

น้ำมันไบโอดีเซลเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดสำโรงยังอยู่ในช่วงมาตรฐานดังกล่าว จึงวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมัน เพื่อนำค่าไปคำนวณหาสมบัติทางเชื้อเพลิงและทางเคมีบางตัวที่จำเป็นด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี (GC) โดยเปรียบเทียบองค์ประกอบของกรดไขมันจากตัวอย่างเมทิลเอสเทอร์จากขั้นตอนที่ได้จากการศึกษา กับตัวอย่างที่ใช้เป็นมาตรฐานเมทิลเอสเทอร์ในขั้นตอนการวิเคราะห์องค์ประกอบเบื้องต้น พบว่า มีสัดส่วนองค์ประกอบแตกต่างกันเล็กน้อย และเมื่อนำไปคำนวณค่าต่าง ๆ ได้ผลดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 องค์ประกอบของเมทิลเอสเทอร์จากการทดลองเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเบื้องต้นก่อนการทดลอง

Fatty acid	Carbon No.	%X	%X
Palmitic Acid	C16:0	23.12	23.14
Palmitoleic Acid	C16:1	2.96	2.95
Stearic Acid	C18:0	6.46	6.46
Malvalic Acid	NA	8.71	8.71
Oleic Acid	C18:1	1.44	1.46
Sterculic Acid	NA	35.68	35.69
Linoleic Acid	C18:2	11.86	11.89
Linolenic Acid	C18:3	2.35	2.33
Arachidic Acid	C20:0	7.45	7.45
SN		181.36	181.66
IV		64.29	64.39
CI		61.90	61.83
HF		9.63	9.62

จากตารางที่ 4.5 คุณสมบัติค่าดัชนีซีเทน (CI) สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในการประเมินคุณภาพในการจุดระเบิดแทนการวิเคราะห์ค่าซีเทน ซึ่งวัดได้ยากกว่า ตามมาตรฐานน้ำมันดีเซลหมุนเร็วภายในประเทศ มีค่าต่ำสุดกำหนดไว้ที่ 47.0 ซึ่งตามข้อมูลที่ได้ในตารางที่ 4.5 นั้น พบว่าค่าดัชนีซีเทนของน้ำมันเมล็ดสำโรงนั้นสูงกว่ามาตรฐาน และเมื่อเทียบกับมาตรฐานของดีเซลหมายเลข 2 ที่กำหนดไว้ที่ 45.2 พบว่าน้ำมันดีเซลก็ยังมีค่าดัชนีซีเทนสูงกว่ามาตรฐานดังที่กล่าวมา

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

การสกัดน้ำมันจากน้ำมันเมล็ดตำโรงซึ่งเก็บตัวอย่างมาจาก 3 จังหวัดคือ จังหวัดราชบุรี จังหวัดเพชรบุรี และจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ โดยมี Hexane เป็นตัวทำละลายนั้นพบว่า เนื้อในเมล็ดมีน้ำมันอยู่มากที่สุด แต่เมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันที่สกัดเพียงเนื้ออย่างเดียว กับสกัดทั้งเมล็ดแล้วปรากฏว่าการสกัดทั้งเมล็ดให้ปริมาณน้ำมันมากกว่า โดยสกัดได้ประมาณร้อยละ 34.21 ซึ่งเมื่อกำหนดเงื่อนไขเกี่ยวกับความชื้นในเมล็ดเพื่อทดสอบว่าสถานะของเมล็ดที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมัน โดยมุ่งสนใจสถานะที่ค่าความชื้นในสองค่าคือ ร้อยละ 7 และร้อยละ 5 โดยน้ำหนักตามมาตรฐานแห้ง เนื่องจากเมล็ดตำโรงตัวอย่างที่เก็บมาได้เป็นเมล็ดแห้ง ทำให้ง่ายต่อการเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาไม่มีปัญหาเรื่องแมลงรบกวน โดยเมล็ดตำโรงแห้งมีความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ยเพียงร้อยละ 9 โดยน้ำหนักตามมาตรฐานแห้ง ซึ่งถือว่าต่ำมากจึงเลือกค่าความชื้นสุดท้ายของเมล็ดที่ต้องการเพียงสองค่าเท่านั้น แต่เมื่อนำเมล็ดสดมาทดสอบหาความชื้นพบว่าเมล็ดตำโรงมีความชื้นประมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนักตามมาตรฐานแห้ง จากการทดสอบดังกล่าวพบว่าสถานะที่เหมาะสมที่สุดคือ ใช้อุณหภูมิในการอบ 60 องศาเซลเซียส ความชื้นสุดท้ายที่ร้อยละ 5 ของมาตรฐานน้ำหนักแห้งจะให้ปริมาณน้ำมันมากที่สุด แต่ถ้านำปัจจัยเรื่องพลังงานมาร่วมพิจารณาแล้วพบว่าสถานะที่เหมาะสมคือ ใช้อุณหภูมิในการอบ 70 องศาเซลเซียส ความชื้นสุดท้ายที่ร้อยละ 7 ของมาตรฐานน้ำหนักแห้ง จะสามารถให้น้ำมันในปริมาณมากที่สุด เมื่อเทียบกับพลังงานที่ใช้ไป

จากนั้นนำน้ำมันเมล็ดตำโรงมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง แก๊สโครมาโตกราฟี (GC) พบว่าน้ำมันเมล็ดตำโรงประกอบด้วยกรดไขมันทั้งหมด 9 ตัว คือ Palmitic (C16:0) Stearic (C18:0) Oleic (C18:1) Linoleic (C18:2) Linolenic (C18:3) Malvalic และ Sterculic โดย Malvalic และ Sterculic เป็นสารในตระกูล Cyclopropanoid Fatty Acid ซึ่งเป็นสารชนิดเดียวกับที่มีอยู่ในน้ำมันจากเมล็ดงาและฝ้าย โดยผลวิจัยทั่วไประบุว่าในเมล็ดของพืชตระกูลตำโรงนั้นจะมีสารสองชนิดนี้อยู่ในปริมาณที่สูง และสารชนิดนี้มีผลเป็นพิษต่อสัตว์จึงไม่สามารถนำไปผลิตเป็นอาหารสัตว์ได้ แต่สารพิษดังกล่าวสามารถกำจัดได้ด้วยในสถานะอุณหภูมิสูง

เมื่อวิเคราะห์ร้อยละองค์ประกอบด้วย High performance Liquid Chromatography พบว่า น้ำมันเมล็ดตำโรงมีกรดไขมันอิสระเป็นส่วนประกอบในปริมาณที่น้อยมากจึงสามารถทำปฏิกิริยาเพียงขั้นตอนเดียวได้ และเมื่อนำน้ำมันจากเมล็ดตำโรงมาทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันในไมโครเวฟด้วยเงื่อนไขที่กำหนด แล้วทดสอบเอสเทอร์ที่ได้ด้วยธินเลเยอร์โครมาโตกราฟี (TLC) แล้วผลปรากฏว่าที่

อัตราส่วนต่อโมลของเอทานอลและเมทานอลต่อน้ำมัน 12:1 และ 15:1 นั้นเกิดปฏิกิริยาได้ดีที่สุดในทุก ๆ ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา แต่ยังปรากฏแถบของไตรกลีเซอไรด์และกรดไขมันอิสระอยู่ ซึ่งการวิเคราะห์เอสเทอร์ด้วยวิธีดังกล่าวมีข้อบกพร่องตรงที่ไม่สามารถระบุค่าการเกิดเอสเทอร์เป็นตัวเลขได้ จึงไม่สามารถระบุได้ว่าระหว่างอัตราส่วนโมลที่ 12:1 และ 15:1 อัตราส่วนไหนทำปฏิกิริยาได้ดีกว่ากัน จึงต้องวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของเอสเทอร์ด้วยเครื่อง HPLC อีกครั้ง ซึ่งผลที่ได้ปรากฏว่า ที่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 1 ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ อัตราส่วนโมลแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน 1:3 เวลาในการทำปฏิกิริยาในไมโครเวฟ 50 วินาที สามารถทำปฏิกิริยาได้ดีที่สุด

เมื่อน้ำมันเมล็ดตำโรง และเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดตำโรงมาทดสอบคุณสมบัติทางเชื้อเพลิง พบว่าน้ำมันมีสีเหลืองใส ไม่ตกตะกอน มีค่าความร้อนในการเผาไหม้ประมาณ 9.55 Kcal/kg แต่เมื่อนำมาผ่านกระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชันค่าความเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็น 9.66 Kcal/kg และมีค่าซีเทนดีกว่า น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลหมายเลข 2 ถึงแม้ว่าค่าความหนืดจะสูงกว่า แต่สำหรับประเทศซึ่งถือว่าเป็นเมืองร้อนจึงน่าจะสามารถนำมาใช้แทนน้ำมันดีเซลได้ในระดับหนึ่ง เนื่องจากต้นตำโรงเป็นพืชที่ไม่ต้องการการดูแลเอาใจใส่มาก ออกผลได้ในระยะเวลาเพียง 2-3 ปีหลังจากเพาะปลูก ปริมาณผลผลิตต่อต้นสูง จึงมีความเหมาะสมในการเลือกเป็นวัตถุดิบทดแทนในการผลิตไบโอดีเซลได้ชนิดหนึ่งต่อไปในอนาคต เพื่อช่วยลดต้นทุนการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงและรักษาสิ่งแวดล้อมให้กับเมืองไทย

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากในปัจจุบันราคาน้ำมันดีเซลเพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก และถือว่าไบโอดีเซลไม่ใช่เรื่องที่ไกลตัวอีกต่อไป เนื่องจากในระดับชุมชนเริ่มมีบุคคลสนใจหันมาผลิตขายในเชิงพาณิชย์ ซึ่งถ้าต้องการพัฒนาให้ไบโอดีเซลมีศักยภาพในท้องตลาดมากขึ้น จึงต้องสมควรพิจารณาในเรื่องต่าง ๆ ดังนี้

5.2.1 ด้านงานวิจัยและพัฒนา

- ไบโอดีเซลต้องมีการพัฒนาในเรื่องของการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันในทางเชื้อเพลิง ซึ่งยังถือว่าค้ำกว่าน้ำมันดีเซลมาก โดยสมควรที่จะต้องพัฒนาในเรื่องของค่าความหนืด และสารเติมแต่งเพื่อปรับปรุงค่าซีเทน ให้สามารถเทียบเท่าหรือใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล
- ศึกษาการใช้กากที่เหลือจากการกลั่นน้ำมัน และผลผลิตที่เป็นผลพลอยได้ของปฏิกิริยา ให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นต่อไปได้ เพื่อเพิ่มรายได้ให้กับผู้ผลิต และลดสารพิษที่จะต้องทิ้งสู่สิ่งแวดล้อม
- ปรับปรุงวิธีการเพาะปลูกพืชน้ำมัน เพื่อเพิ่มผลผลิตต่อไร่ให้มากขึ้น รวมทั้งสรรหาพืชน้ำมันชนิดอื่นที่เป็นส่วนเหลือใช้จากอุตสาหกรรมต่าง ๆ เพื่อลดขยะที่จะต้องทิ้งสู่สิ่งแวดล้อม และนำส่วนเหลือใช้มาทำให้เกิดประโยชน์
- ศึกษาวิธีการทำไบโอดีเซล โดยใช้พลังงานจากธรรมชาติในรูปแบบอื่น ๆ เช่น แสงอาทิตย์ เป็นต้น

5.2.2 ด้านนโยบายของรัฐ

ปัจจุบันถึงแม้ว่าองค์กรของรัฐจะหันมาสนใจในเรื่องของการส่งเสริมการผลิตไบโอดีเซล โดยรัฐเริ่มกระตุ้นให้เกษตรกรหันมาปลูกน้ำมันปาล์มเพื่อการผลิตไบโอดีเซลอย่างกว้างขวาง แต่ยังไม่มีความมาตรการรองรับในเรื่องของการรับซื้อผลผลิตเท่าที่ควรจะเป็น รัฐจึงสมควรเน้นในเรื่องของการส่งเสริมเงินทุนในการวิจัยและพัฒนาในเรื่องเทคโนโลยีการเพาะปลูก และออกมาตรการเกี่ยวกับการรับซื้อและขายน้ำมันปาล์ม เพื่อที่การซื้อน้ำมันปาล์มสำหรับผลิตไบโอดีเซลจะได้ไม่แย่งผลผลิตในด้านการบริโภค และไม่มีปัญหาน้ำมันเพื่อการบริโภคขาดแคลนให้เห็นอย่างเช่นปัจจุบัน

เอกสารอ้างอิง

1. เอกสารสำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, กันยายน 2546.
www.mfa.go.th/web/1470.pnp?!d=568
2. สถาบันวิจัยพลังงานจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, เครือข่ายพลังงานและสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, www.teenet.chula.ac.th/energy/detail1-1.asp?ID=10
3. สถาบันปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย, www.ptit.org/oilbusiness/statistic/im_ex_chart#index52
4. ไพจิตร จันทรวงค์, 2530, “คู่มือการใช้ประโยชน์และการตรวจสอบคุณภาพพืชน้ำมัน 52 ชนิด”,
เอกสารรายงานเคมีพืชน้ำมันและสารธรรมชาติ กองเกษตรเคมี กรมวิชาการเกษตร, หน้า 75.
5. Encinar, J.M, Gonzalez, J.F., Roderiuez, J.J. and Tejedor, A., 2002, “Biodiesel fuel from
vegetable oils : Transesterification of *Cynara cardunculus* L. oils with Ethanol”, **Energy &
Fuels**, Vol.16, pp. 443-450.
6. Xiaoming Bao และคณะ , 2003, “Characterization of Cyclopropane Fatty Acid Syntheses
from *Sterculia Foetida*”, **Journal of Biological Chemistry**, pp. 1-36.
7. Sabria Aued-Pimentel และคณะ, 2004, “Evaluation of methylation procedure to determine
cyclopropanoids fatty acids from *Sterculia striata* St. Hil. Et Nauds see oil”, **Journal of
Chromotography A**, Vol 1054, pp. 235-239.
8. Emile M. Gaydou.และคณะ , 1993, “Fatty Acid Composition of *Sterculia* Seed and Oil from
Madagascar”, **Journal of Food Chemistry**, Vol. 41, pp. 64-66.
9. Krisnangkura, K., 1986, “A simple method for estimation of cetane index of vegetable oil
methyl ester”, **Journal of the American oil Chemist’ Society**, Vol. 63, pp. 552-553.
10. Krisnangkura, K., 1991, “Estimation of heat of combustion of triglycerides and fatty acid
methyl esters”, **Journal of the American oil Chemists’ Society**, Vol. 68, pp. 56-58.

